

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Bakalářská práce

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže**

Náhrada broušení ložiskových čepů soustružením

Substitution of Grinding Technology of Bearing Pivots by Slide Turning

Student:..... Ondřej Berg

Vedoucí bakalářské práce:..... Doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student:

Ondřej Berg

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Náhrada broušení ložiskových čepů soustružením
Substitution of Grinding Technology of Bearing Pivots by Slide Turning

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika výroby přesných rotačních součástí.
3. Návrh technologie výroby pro danou součást.
4. Diskuze experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINCIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě21.5.2012.....

.....*Beneš*.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:21.5.2012.....

.....Berg.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Ondřej Berg

Adresa trvalého pobytu autora práce: U Slunce 33, 789 85, Mohelnice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BERG, O. *Náhrada broušení ložiskových čepů soustružením*. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, 55 s. Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Bakalářská práce se zabývá náhradou broušení ložiskových čepů soustružením, v úvodních částech byla popsána obecná charakteristika daného problému, dále potom základní způsoby obrábění rotačních součástí. Hlavní část se zabývá návrhem vhodných nástrojů a řezných podmínek tak, aby bylo dosaženo potřebné kvality povrchu obrobku. V praktické části byly provedeny zkoušky a jejich analýza. Závěr této práce popisuje technicko-ekonomické zhodnocení a výběr vhodné metody obrábění.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BERG, O. *Substitution of Grinding Technology of Bearing Pivots by Slide Turning*. Ostrava: machining and assembly department, Faculty of Mechanical Engineering - Technical University of Ostrava, 2012, 55 p. Bachelor thesis, the supervisor doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

This thesis deals with the replacement grinding journals turning. The introductory sections have been described mainly characteristics of the problem, next processing of basic ways of rotating parts. The main part deals with the design of appropriate tools and cutting parameters in order to achieve the required quality of the workpiece surface. In the practical part of the tests were performed and their analysis. The conclusion of this paper describes the technical-economic evaluation and selection of appropriate methods of machining.

Obsah:

Seznam použitého značení a zkratk	8
1. Úvod	9
2. Obecná charakteristika daného problému	10
2.1. Charakteristika firmy Siemens AG	10
3. Problematika výroby přesných rotačních součástí	16
3.1. Soustružení	16
3.2. Broušení	24
3.3. NC a CNC stroje	29
3.4. Kontrola	30
4. Návrh technologie výroby pro danou součást	36
4.1. Původní způsob výroby	36
4.2. Navrhovaný způsob výroby	39
4.2.1. Volba obráběcího stroje	40
4.2.2. Zvolené nástroje	41
4.2.3. Zvolené řezné parametry pro zkoušky	43
4.2.4. Kontrola a měření	46
5. Diskuze experimentů	48
6. Technicko-ekonomické zhodnocení	51
6.1. Ekonomické zhodnocení	51
6.2. Porovnání dosažených drsností povrchu	53
7. Závěr	55
8 Seznam použitých pramenů	56

Seznam použitého značení a zkratek

NC	(Numerical Control) číslicově řízený (stroj)
CNC	(Computer Numerical Control) počítačem číslicově řízený (stroj).
RO	rychlořezná ocel
VBD	vyměnitelná břitová destička
SK	slinutý karbid
ISO	(International Standard Organisation) mezinárodní soustava norem
Rz	největší výška profilu
Rmr	materiálový podíl profilu
v_c	řezná rychlost
a_p	hloubka řezu
f_n	velikost posuvu
n	otáčky vřetene
μm	délková jednotka mikrometr

1. Úvod

Cílem bakalářské práce je návrh náhrady broušení ložiskových čepů soustružením pro praktické využití ve firmě Elektromotory Mohelnice, konkrétně na dílně obrobny rotorů. Klasický postup výroby začíná soustružením hřídeloviny, následuje frézování drážky pro pero. U hřídelí malých osových výšek (do 80mm) se provádí rýhování části povrchu, na kterou bude nalisován rotor. Dále je prováděno lisování hřídele do rotoru. Následující operací je broušení těch částí hřídele, na které budou ve fázi montáže nalisována ložiska. A nakonec je soustružen povrch rotoru a provedeno vyvážení. Broušené plochy se brousí každá zvlášť na jiném stroji zapichovacím způsobem, což je velice zdlouhavé a pracné. Protože broušení patří mezi drahé způsoby obrábění a nižší náklady na výrobu zajišťují lepší mezinárodní konkurenceschopnost podniku, je tato bakalářská práce zaměřena na převod povrchové úpravy z broušení na soustružení. Soustružení ložiskových čepů bude prováděno současně s operací, při které se provádí soustružení povrchu rotoru. Výhodou tohoto způsobu bude možnost vypustit broušení z technologického postupu, a tudíž budou ušetřeny náklady na provoz dvou brousících strojů. Soustružením bude dosaženo zvýšení produktivity a zkrácení výrobních časů, a z tohoto důvodu bude výroba ekonomicky výhodnější. Pro bezproblémový chod elektromotoru je nutné, aby lisované spojení ložisek s hřídelí bylo spolehlivé (vysoká přesnost a pevnost spojení). Proto jsou kladeny na obrobenou plochu vysoké nároky především na házivost a jakost povrchu. Protože jde o spojení součástí lisováním, musí mít hřídel přesné rozměry v toleranci dané technickým výkresem. Díra v ložisku má přesný rozměr a kvalitu povrchu stanovenou příslušnou normou. Potřebných přesností ložiskových čepů lze docílit volbou vhodného stroje a nástrojů, stanovením vhodných řezných podmínek a dodržením technologických a výrobních předpisů. Hlavním podmětem k tomuto tématu bylo snížení nákladů a výrobních časů na povrchové úpravy hřídele před dalšími pracovními operacemi.

2. Obecná charakteristika daného problému

Ložiskové čepy musí mít přesné rozměry a jakost obrobeného povrchu, aby bylo dosaženo spolehlivého lisovaného spojení čepu a ložiska. V současné době se ve firmě Elektromotory Mohelnice povrchová úprava čepů provádí broušením. Moderní CNC soustruhy a obráběcí centra dosahují díky vysokým tuhostem a přesnosti uložení hybných částí vedení vysokých opakovatelných přesností. V kombinaci s vhodně zvolenými nástroji podobných vlastností lze dosáhnout obdobných vlastností opracovaného povrchu jako při broušení. Náhradou broušení soustružením by se dosáhlo především vyšší produktivity, snížení seřizovacích časů, snížení nákladů na brusné nástroje, vyšší šetrnosti vůči životnímu prostředí atd. Hlavním důvodem převodu broušení na soustružení je zvýšení produktivity práce a úspory na náklady provozu strojů, které jsou u soustružení podstatně nižší. [2]

Z důvodu spolehlivého uložení čepu v ložisku je dle výkresu nutné dosáhnout povrchové drsnosti $R_z 8 \mu\text{m}$ a $R_{mz} > 65\%$. Z důvodu, že je tato práce vypracována pro využití firmy Elektromotory Mohelnice, bude v následující kapitole představena.

2.1. Charakteristika Siemens AG

Firma Siemens AG je celosvětový koncern zabývající se vývojem a výrobou v oblasti energetiky, zdravotnictví, průmyslu, dopravy, komunikace, osvětlení, informatiky a výrobou domácích elektrospotřebičů. Řadí se mezi největší poskytovatele technologií, které jsou šetrné k životnímu prostředí a generují roční obrat kolem 40 mld. EUR. Více než 160 let se tato firma zabývá vývojem špičkových technologií, kvality, inovací a mezinárodním působením. Firma Siemens AG zaměstnává ve 193 zemích světa zhruba 405 000 pracovníků. Tím patří mezi největší zaměstnavatele na světě. Na vývoj, výzkum, vzdělání a inovace vydává průměrně po 10% z ročního obratu. Od 1.října 2011 se firma dělí dle zaměření na čtyři hlavní divize viz Obr. č. 1. [1]



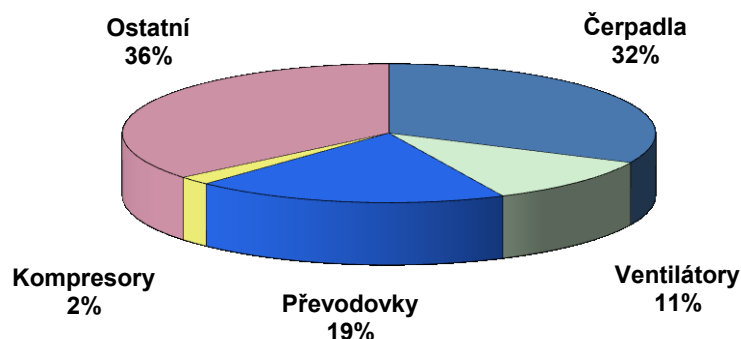
Obr. č. 1. Rozdělení firmy Siemens AG na čtyři hlavní divize: průmysl, infrastruktura, energetika a zdravotnictví. [1]

V České republice bylo založeno zastoupení společnosti Siemens AG před 120 lety a obnoveno v roce 1990. Zabývá se působením v oblastech průmyslu a veřejné infrastruktury, zdravotnictví, energetiky a informačních technologií. V současnosti s 11 000 zaměstnanci patří mezi největší zaměstnavatele v ČR. Firmu Siemens v České republice tvoří 8 společností. Mezi hlavní oblasti patří výroba asynchronních elektromotorů vyráběných v odštěpném závodě Elektromotory Mohelnice, Frenštát a Drásov. [1]



Obr. č. 2. Místa výroby elektromotorů Siemens v ČR. [1]

Odštěpný závod Elektromotory Mohelnice se řadí mezi přední světové dodavatele nízkonapěťových asynchronních elektromotorů. Mezi zákazníky patří mimo jiné výrobci čerpadel, převodovek, ventilátorů a kompresorů.



Obr. č. 3. Graf využití elektromotorů. [1]

Zaměstnává kolem 2 000 kmenových zaměstnanců a cca 200 zaměstnanců pracovních agentur. V areálu výrobního závodu působí také několik externích firem, které zajišťují podpůrné procesy. Firma kooperuje s několika subjekty v ČR v oblasti obrábění, navíjení satorových svazků a pod. [1]

Hlavní výrobní program jsou třífázové nízkonapěťové asynchronní elektromotory s kotvou nakrátko o výkonech od 0,06 kW do 37,0 kW. Osové velikosti 63-90 mm mají hliníkovou kostru, 100-160 mm volitelně hliníkovou, nebo kostru ze šedé litiny, 180-200 mm kostru ze šedé litiny. Velký důraz je kladen na vývoj nových elektromotorů a na neustálém zvyšování jejich účinností. Mimo dnešní evropský standard účinnosti IE2 jsou dodávány motory s vyšší účinností IE3 a je zahájen vývoj elektromotorů a ještě vyšší účinnosti IE4. Pro americký kontinent jsou určeny motory s účinností dle dohody EISA s označením NEMA a NEMA PREMIUM, pro brazilský trh motory s účinností dle místní normy ABNT. [1]

Elektromotory mohou být na přání zákazníka vybaveny dalšími nastavbami jako je například tepelná ochrana vinutí, příruba, elektromagnetická brzda, cizí ventilace, snímač otáček, atd. Tím se velmi rozšiřuje jejich použitelnost. Mimo základní řadu motorů jsou vyvinuty další odvozené řady pro speciální použití – jednofázové elektromotory, motory do výbušného prostředí, lodní provedení, provoz s frekvenčním měničem nad 500V, pohon válečkových dopravníků v hutích, pohon ventilace v tunelech, příprava pro montáž čerpadel a převodovek. [1]

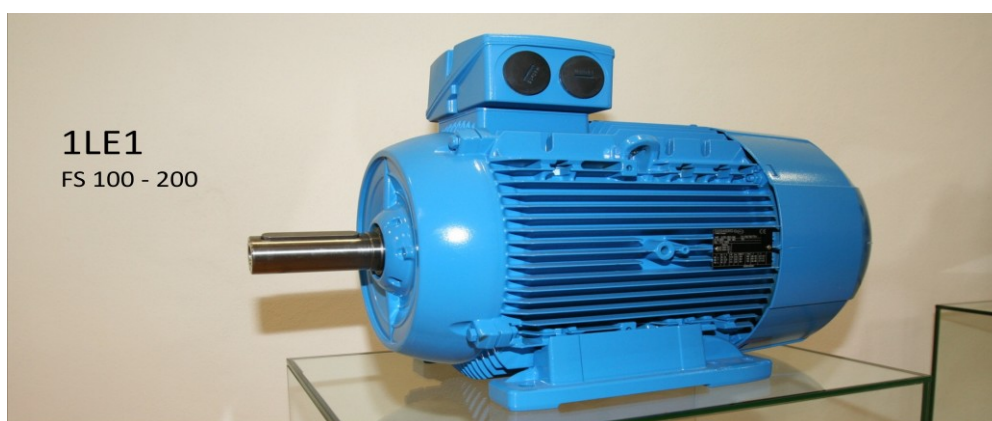
Rozdělení dle montážních pracovišť:

- malá řada osových velikostí 63 – 132mm
- velká řada osových velikostí 160 – 200mm.

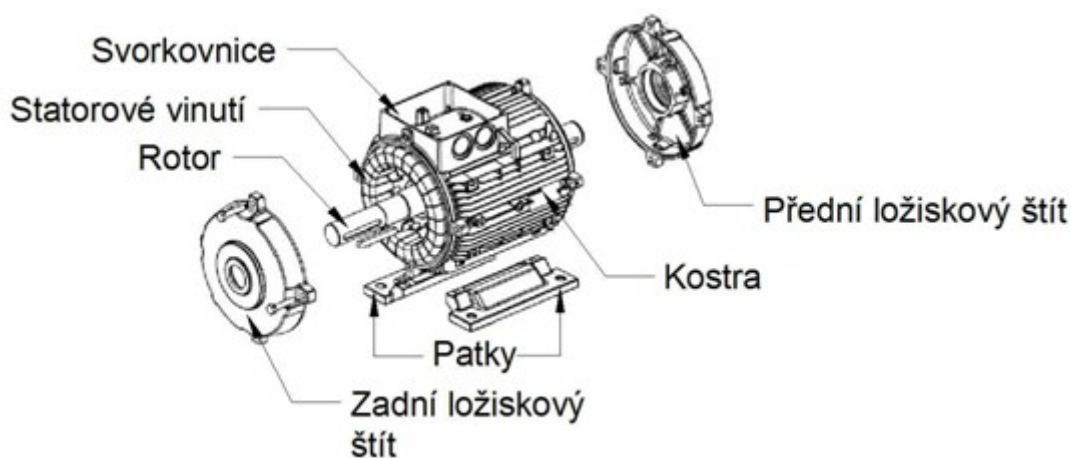
Ročně se zde vyrobilo cca 1 400 000 kusů elektromotorů. Výroba dalších speciálních zákaznických provedení se v současnosti převádí v rámci projektu Euromotor 2012 z výrobního závodu v německém Bad Neustadt. Mohelnický závod je dnes největším evropským výrobcem elektromotorů. Obrat v obchodním roce 2010/11 zde činil 5‘‘040‘342 CZK (205‘728€). [1]

Mezi tradičně největší odběratele se řadí firmy jako:

Atlas Copco, Getriebe Bau Nord, Kaeser, KSB, Grundfos.



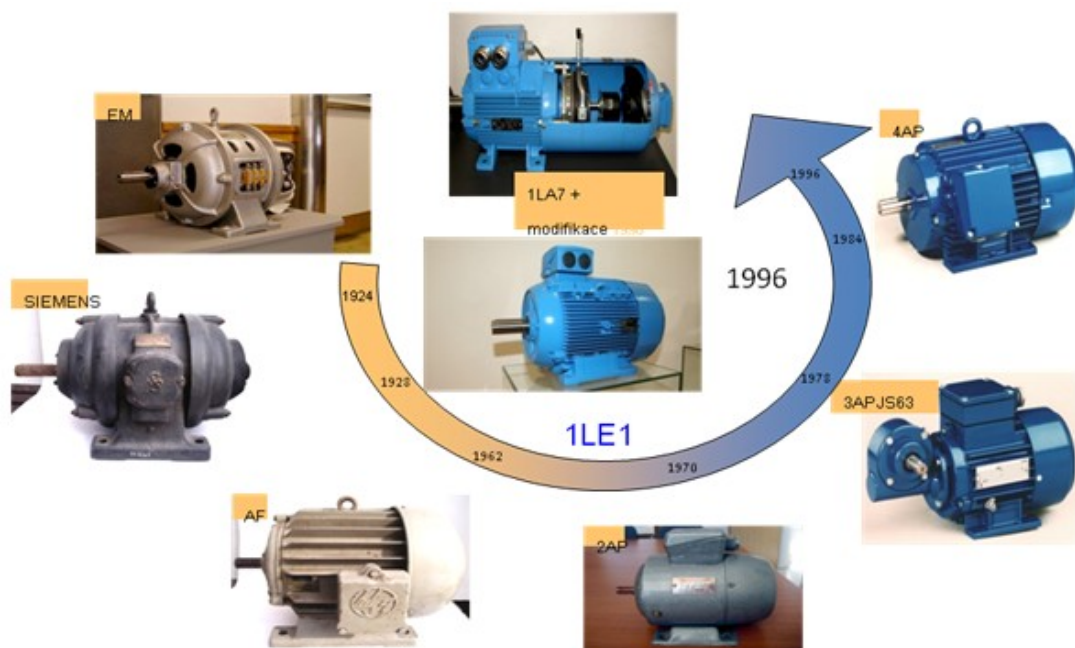
Obr. č. 4. Nová řada elektromotorů s vyšší účinností 1LE1 vyráběné od roku 2010. [1]



Obr. č. 5. Hlavní části elektromotoru. [1]

DŮLEŽITÉ MEZNÍKY V HISTORII ZÁVODU	
1904	Dne 30.9. založení nové společnosti Ludwig Doczekal & Comp. – podnik pro výrobu elektrických zařízení se sídlem v Mohelnici.
1904-1906	Postavení prvních objektů.
1913	Změna statutu firmy na veřejnou obchodní společnost – Společnost pro výrobu elektrického a strojního zařízení Gustav Brassa dr. Rudolf Doczekal se sídlem v Mohelnici.
1923	Vytvoření nové akciové společnosti EMAG – Elektrizitäts- und Maschinenbau Aktien Gesellschaft.
1924	Uzavření smlouvy o vzájemném společenství se společností Siemens.
1926	Ke dni 21.12. vznik nové akciové společnosti Siemens Elektrotechnika fúzí Elektrotechnické a strojírenské a.s. v Mohelnici a Siemens & Co., komanditní společnost, v Praze.
1939	Začlenění mohelnické továrny do koncernu Siemens – Schuckertwerke AG. Modernizace a specializace výroby elektromotorů.
1945	Výnosem ministerstva postavení závodu pod národní správu Siemens – Schuckertových závodů se sídlem v Praze. Vznik značky MEZ.
1950	Osamostatnění závodu na n.p. MEZ Mohelnice se sídlem v Mohelnici.
1960	Rozšíření výrobního programu o výrobu elektromotorů jednotné řady AF.
1980	Zahájení výstavby v rámci projektu Výstavby a rekonstrukce MEZ Mohelnice – integrace RVHP v asynchronních elektromotorech.
1981	Vznik koncernového podniku MEZ Mohelnice a začlenění do koncernu ZSE Praha.
1988	Vznik kombinátního podniku ZSE Praha.
1990	Ke dni 1.7. vznik samostatného státního podniku MEZ Mohelnice. Slavnostní otevření nové slévárny.
1994	Dne 1.6. schválena vládou ČR privatizace motorářských aktivit s.p. MEZ Mohelnice a s.p. MEZ Frenštát, a to formou přímého prodeje majetku firmě Siemens. Od 1.10. MEZ Frenštát součástí Siemens Elektromotory s.r.o. Praha a začlenění do obchodního pole ASI 1N (Nízkonapěťové motory).
1995	Ke dni 22.9. udělení certifikátu systému managementu jakosti dle normy EN ISO 9001:1994 závodu firmou LRQA.
1996-1999	Přemístění sídla Siemens Elektromotory s.r.o. z Prahy do Mohelnice. Převody výrob elektromotorů mezi závody Frenštát, Mohelnice a Bad Neustadt. Rozšíření výroby elektromotorů v Mohelnici, vývoj a zavedení nové řady motorů 1LA5/7. Ke dni 1.4.1998 vytvoření obchodní oblasti I DT LD.
2001	Zahájení projektu „Koncepce výroby elektromotorů v Evropě“.
2002	Otevření logistického centra firmy GEIS v Mohelnici. Ke dni 13.8. udělení certifikátu systému managementu jakosti dle normy EN ISO 9001:2000 obchodní oblasti I DT LD (závodům Erlangen, Bad Neustadt, Mohelnice, Frenštát, Congleton) firmou DQS GmbH.
2004	Dokončení projektu „Koncepce výroby elektromotorů v Evropě“ „Produktzuordnung“ mezi Mohelnicí a Bad Neustadtem.
2006	Ke dni 11.8. udělení certifikátu systému environmentálního managementu dle normy EN ISO 14001:2005 společnosti Siemens Elektromotory s.r.o. (závodům Mohelnice a Frenštát) firmou DQS GmbH.
2010	Vývoj a zavedení nové řady motorů 1LE1 s vyšší účinností
2012	Dokončení projektu „Euromotor 2012“ Další převody výrob elektromotorů mezi závody Mohelnice a Bad Neustadt

Tab. č. 1. Historie firmy Elektromotory Mohelnice.[1]



Obr. č. 6. vývoj elektromotorů. [1]

3. Problematika výroby přesných rotačních součástí

Hlavními představiteli rotačních součástí jsou hřídele. Hřídele ve strojírenství představují 30-40% strojních součástí. Jedná se o součásti kruhového průřezu různých průměrů a délek. Hřídele se rozdělují do dvou skupin na hřídele nosné a hřídele pohybové. Nosné hřídele na sobě unášejí otáčející se součást, nebo se otáčejí společně s touto součástí a jsou namáhány na tlak a ohyb. Pohybové hřídele slouží převážně k přenosu rotačního pohybu a jsou namáhány na krut. Ve většině případů jsou na nich uloženy další součásti jako např. ozubená kola, řemenice, řetězová kola, spojky atd. Převážně jsou uloženy v ložiskách. Hřídele mohou být plné, duté, drážkové, nebo flexibilní. Materiál hřídelů je volen s ohledem na druhu namáhání, jakým budou zatíženy. Rotační součásti je možné vyrábět mnoha způsoby. Nejčastěji však soustružením, ale i broušením a frézováním s pomocí přípravků.

3.1. Soustružení

Soustružení je obrábění převážně rotačních součástí (rotačních ploch) zpravidla jednobřitým nástrojem. Při soustružení koná otáčivý pohyb obrobek, posuv a přísuv vykonává nástroj. Soustružení patří mezi nejstarší a nejjednodušší způsob obrábění. Protože většinu strojních součástí tvoří rotační nebo rovinné plochy, tak se v současné době více než třetina obráběcích operací provádí na soustruzích (30-40%). Soustružením lze obrábět vnější i vnitřní plochy. Dále je možné dosáhnout nejen válcových, kuželových, rovinných, rádiusových, kulových ale i obecných rovinných ploch. Je zde možné provádět další osové operace, mezi které patří řezání závitů (vnější i vnitřní pomocí závitového nože, závitníku nebo závitových čelistí), vrtání, vyhrubování, vystružování, zahlubování a mnoho dalších. Přidáním přídatných zařízení je možné na soustruzích frézovat, brousit apod. [4] [5]

Při soustružení odebírá řezný nástroj vrstvu materiálu, která od obrobku odchází ve formě třísky. Aby bylo možné oddělit třísku, musí mít řezná část nástroje klínový tvar a musí být tvrdší než obráběný materiál. [4] [5]

Podstata metody:

Hlavní řezný pohyb (v_c) při soustružení je otáčivý a koná ho obrobek. Je nutný k odříznutí třísky pomocí nástroje. Vedlejší pohyby tzv. posuvové pohyby (f_n) vykonává nástroj: příčný posuv (pohyb soustružnického nože kolmo k ose obrobku, výsledný pohyb bříty má tvar Archimedovy spirály) a podélný posuv (pohyb rovnoběžný s osou otáčení obrobku, výsledný pohyb bříty má tvar šroubovice). Pomocí příčného posuvu lze soustružit čelní plochy, pomocí podélného posuvu válcové plochy. Kombinací podélného a příčného pohybu soustružnického nože lze dosáhnout různých tvarových ploch (kuželová, rádiusová, atd.). Před obráběním je nutné nastavit požadovanou hloubku řezu (a_p), tento pohyb nástroje se nazývá přísuv. [4]

Řezné podmínky:

Mezi řezné podmínky patří řezná rychlost (v_c), posuv (f_n) a hloubka řezu (a_p).

Řezná rychlost je rychlost hlavního řezného pohybu a lze ji definovat jako obvodovou rychlost obrobku na obráběné ploše. Řeznou rychlost lze vypočítat ze vztahu:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

D – průměr obráběné plochy [mm]

n – počet otáček vřetene [$\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$]

Dráha, kterou vykoná nástroj za jednu otáčku vřetene se nazývá posuv. Při hrubování se posuv volí 0,4 - 5 mm, při hlazení 0,06 – 0,3 mm. Rychlost posuvu lze stanovit ze vztahu:

$$v_f = f \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2)$$

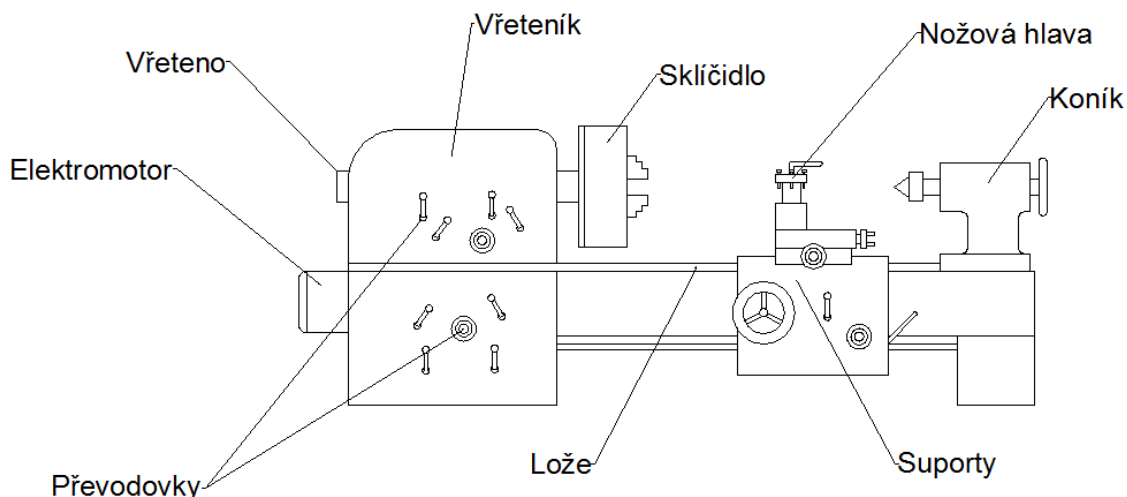
f – posuv na jednu otáčku [mm]

n – počet otáček vřetene [$\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$]

Hloubka řezu (velikost třísky) se volí v závislosti na materiálu obrobku, nástroji, otáčkách a pohybuje se v rozmezí několika tisícín mm až několika mm. [4] [5]

Stroje:

Stroje pro soustružení se nazývají soustruhy a tvoří nejpočetnější skupinu obráběcích strojů. Z konstrukčního hlediska je dělíme na: hrotové, čelní, svislé, revolverové a speciální. Podle stupně automatizace na: ruční, poloautomatické a automatické. [4] [5]



Obr. č. 7. Univerzální hrotový soustruh.

Upínání obrobků:

Upínání obrobků musí být rychlé a spolehlivé. Podle tvaru a hmotnosti volíme vhodný způsob upnutí. Nejběžnější upínání je do univerzálního tříčelistového sklíčidla, kdy jednotlivé čelisti mezi sebe sevrou obrobek. U delších obrobků se volný konec podepře za předem navrtaný středící důlek na čele obrobku do otočného hrotu, který je upnut v koníku. [4]

Dále se velmi často používá upínání mezi hroty s unášecím srdcem. Tento způsob zajišťuje přesné upnutí obrobku do osy vřetene. Obrobek je uchycen mezi pevným hrotem, který je upnut ve vřetenu stroje a otočným hrotem upnutým v koníku. Hroty podpírají obrobek za středící důlky navrtané na čelech obrobku. Otáčivý pohyb vřeten přenáší unášecí srdce s deskou. Obrobky dlouhé s malým průměrem, u kterých hrozí odtlačení soustružnickým nožem se podpírají lunetami (pevné nebo posuvné). [4]

Na CNC soustruzích se často používá upínání pomocí kleštín, které je velice rychlé a přesné. [4]

Nerotační obrobky a obrobky s nepravidelnými tvary je možné upnout na upínací desku. Pro složité tvary obrobků se používá upínání pomocí upínky. Tento způsob je rychlý a přesný, ale velmi nákladný. Proto se využívá výhradně v sériové a hromadné výrobě. [4]

Upínání nástrojů:

Na univerzálních soustruzích se soustružnické nože upínají především do otočných nožových hlav. Nůž musí být minimálně vyložený, aby se vlivem tlaků vzniklých při obrábění neodtláčil mimo otočnou osu obrobku. Špička soustružnického nože je upnuta přesně do osy soustružení. [4]

U revolverových a většině číslicově řízených soustruhů se nástroje upínají do revolverových hlav. U speciálních soustruhů potom do speciálních držáků umístěných v zásobníku. [4]

Nástroje:

Nástroje pro soustružení se nazývají soustružnické nože. Obvykle mají jednoduchý geometrický tvar a bývají zpravidla jednobřité. Mezi základní prvky patří materiál řezné části, tvar řezného klínu a průřez tělesa nástroje. Dají se dělit do několika základních skupin:

- *podle materiálu břitu* – nože s břity z nástrojových ocelí (většinou rychlořezných RO), ze slinutých karbidů (nejvyužívanější), z řezné keramiky, z cermetů, z polykrystalického diamantu a polykrystalického kubického nitridu boru
- *podle konstrukce* – celistvé nože, nože s pájenou břitovou destičkou a s vyměnitelnou břitovou destičkou upínanou mechanicky (VBD)
- *podle tvaru stopky nože* – přímé a ohnuté nože
- *podle způsobu obrábění* – vnější nebo vnitřní a ty se dále dělí na: ubírací, zapichovací a upichovací, závitové, kopírovací a tvarové nože
- *podle tvaru průřezu tělesa nože* – obdélníkové, čtvercové, kruhové
- *podle směru břitu při obrábění* – pravé, levé
- *podle druhu obráběcího stroje* – soustružnické, vyvrtávací, obrážecí, hoblovací.

Hlavní a vedlejší ostří u nožů bývá převážně přímkové, u tvarových nožů má tvar ostří tvar požadovanému tvaru obrobku. Tvarové nože se rozdělují na kotoučové a prizmatické. Podle směru přísuvu k obrobku jsou prizmatické nože buď tangenciální, nebo radiální. [4]
[8]

Materiály obráběcích nástrojů:

Vhodná volba nástrojového materiálu udává jeden ze základních bodů ekonomiky obrábění. Ideální materiál nástroje by měl splňovat určité vlastnosti, mezi které patří dostatečná tvrdost, chemicky neutrální s obráběným materiálem, vysoká houževnatost a odolnost proti teplotním rázům. Materiály používané na výrobu nástrojů lze rozdělit do tří základních skupin, a to na materiály kovové, spékané a keramické. Mezi nejpoužívanější nástrojové materiály patří nástrojová ocel, rychlořezná ocel, slinuté karbidy, řezná keramika, kubický nitrid boru a diamant. [8]

Nástrojová ocel

Nástrojová ocel je jeden z nejstarších materiálů používaných na výrobu obráběcích nástrojů. Potřebné vlastnosti pro obrábění (čistota, chemická homogenita) se získávají pomocí tepelného zpracování v obloukových, nebo indukčních pecích. Podle použití a chemických vlastností lze nástrojovou ocel rozdělit do čtyř skupin na uhlíkovou ocel, rychlořeznou ocel, legované oceli pro práci za studena a práci za tepla. [8]

Rychlořezná ocel

Jedná se o vysocellegované nástrojové oceli dosahující poměrně vysokou pevností. V závislosti na tepelném zpracování a obsahem legujících přísad dosahují vyšší tvrdosti a odolnosti proti popouštění než nástroje z uhlíkových a legovaných nástrojových ocelí. Mezi hlavní přísady ovlivňující vlastnosti materiálu patří wolfram, vanad, molybden, kobalt a chrom. Zvýšení životnosti a výkonnosti nástroje lze dosáhnout úpravou povrchových vrstev funkčních částí nástroje. Jedná se především o metodu povlakování PVD. [8]

Slinuté karbidy

Slinuté karbidy se vyrábí technologií práškové metalurgie. Mají podobné vlastnosti jako kovy s tím rozdílem, že dosahují mnohem vyšších tvrdostí. Jedná se o dvou nebo vícefázový materiál skládající se z tvrdých karbidových částic spojených kovovou vazbou. Slinuté karbidy umožňují práci nástroje za vyšších řezných rychlostí než je tomu u

nástrojových ocelí. Na základě užití jsou rozdělovány do šesti skupin P, M, K, N, S, H a dále pomocí čísel do podskupin. Každá skupina je označována jinou barvou a má své specifické vlastnosti. Zlepšení vlastností slinutých karbidů se dosahuje podobně jako u rychlořezných ocelí povlakováním, ale v tomto případě metodou CVD nebo PVD. [1] [8]

Cermety

Cermety obsahují vysoký podíl tvrdých částic jako je Ti, TiN, Ti(C,N) v kovovém pojivu (Ni, Co, Mo) a jsou vyráběny práškovou metalurgií. Hlavní výhodou při použití cermetů je dobrá odolnost proti opotřebení, chemická stabilita a vysoká tvrdost za tepla, malá náchylnost k oxidickému opotřebení, lepší jakost povrchu a přesnost rozměrů obráběného dílce. Nejčastěji jsou využívány při obrábění obrobků s vysokým požadavkem na jakost povrchu a přesnost rozměrů. Pro obrábění nástroji z cermetu jsou charakteristické vysoké řezné rychlosti a malá hloubka třísky. Vyměnitelné břitové destičky z cermetů jsou vyráběny v podobných tvarových provedeních jako VBD ze slinutých karbidů s tím rozdílem, že jsou dostupné v přesnějších provedeních. Z důvodu zvýšení ostrosti, tvrdosti břitu a zamezení vzniku nárůstku je i cermety možné najít v povlakované formě metodami PVD. [8]

Řezná keramika

Řezná keramika se skládá z čistých jemnozrnných kovových oxidů a nitridů. Vyrábí se podobně jako slinuté karbidy s tím rozdílem, že řezná keramika neobsahuje téměř žádné pojivo. K jejímu rozšíření došlo až po vývoji obráběcích strojů s vyšší tuhostí, vyššími otáčkami a potřebným výkonem pohonů. Využívá se pro vysokorychlostní obrábění tvrdých materiálů a při obrábění přerušovaným řezem. Hlavními výhodami je vysoká tvrdost, odolnost proti vysokým teplotám, odolnost proti opotřebení a odolnost proti chemickým vlivům. Řezná keramika lze taktéž povlakovat a to metodami PVD i CVD, ale k podstatnému zvýšení tvrdosti nedojde. Hlavním důvodem je zvýšení meze únavy, změna třecích poměrů a zvýšení odolnosti proti povrchovým trhlinám. [8]

Polykrystalický diamant

Diamant je považován za nejtvrďší známý přírodní materiál. Průmyslový diamant je k dostání v několika provedeních, a to jako přírodní monokrystal, syntetický monokrystal a polykrystalický kompak. Mimo vysokou tvrdost mají diamanty výhodu v dobré odolnosti proti abrazivnímu opotřebení, nízkém koeficientu tření a dobré tepelné vodivosti. Největšími nevýhodami je křehkost a nízká pracovní teplota. Využití mají především při

soustružení, vrtání a frézování neželezných kovů, keramických materiálů, grafitu, pryže, plastických hmot a další. Osazené vyměnitelné břitové destičky mohou mít různou velikost zrn diamantu v rozmezí 2 až 25 μm . Pro dosažení lepší drsnosti povrchu se na obrábění volí jemnější zrnitost diamantu. [8]

Polykrystalický kubický nitrid boru

Kubický nitrid boru patří k velmi tvrdým materiálům. V přírodě se nevyskytuje a je ho nutné uměle vyrábět reakcí halogenidu boru se čpavkem. K výhodám patří vysoká pevnost za tepla, chemická stabilita k železným kovům a dobrá odolnost proti opotřebení. Hlavní využití má při soustružení, vyvrtávání a v poslední době i při frézování slinutých karbidů, zakalených ocelí, legovaných litin, tvrzených slitin, superslitin a tvrzených litinových válců. Typem a objemem pojící fáze a velikostí výchozích krystalů je možné určovat výsledné řezné vlastnosti polykrystalického nitridu boru. Charakteristika obrábění nástroji s kubickým nitridem boru je vysoký úběr materiálu a vysoká kvalita obrobené plochy. Postupem času soustružení s tímto nástrojem nahrazuje broušení. V porovnání s nástroji z řezné keramiky a slinutého karbidu má nástroj s kubickým nitridem boru při obrábění tvrdých materiálů mnohonásobně vyšší životnost. Hlavními podmínkami při práci s těmito nástroji je vysoký výkon stroje, pevné vedení a minimální vyložení nástroje z důvodu zamezení chvění. [8]

Materiály tělesa nástroje

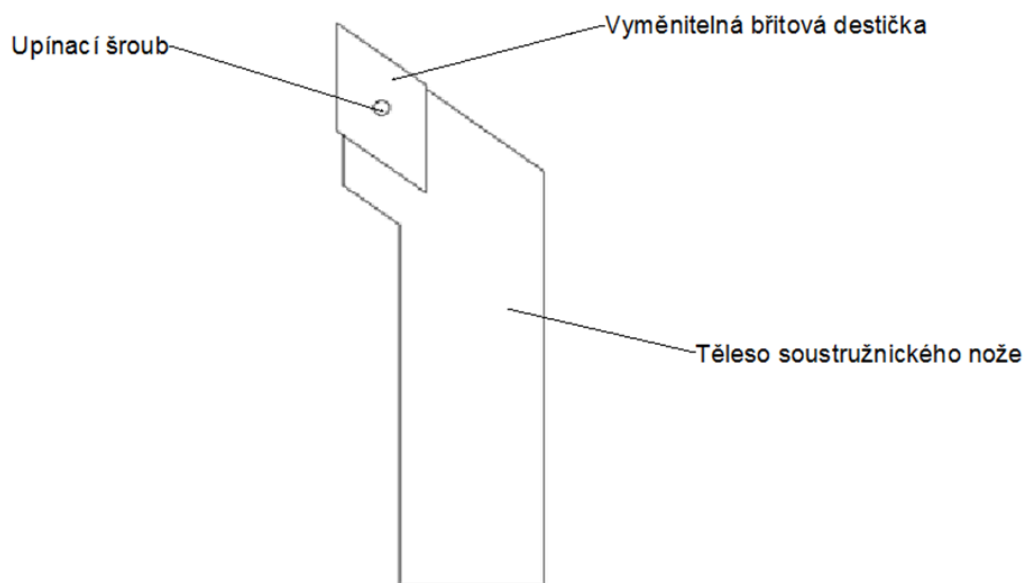
Na výrobu těles nástrojů se volí materiály, které dosahují požadované pevnosti, odolnosti proti opotřebení a houževnatosti pro daný způsob obrábění. U nástrojů s vyměnitelnou břitovou destičkou se z důvodu delší životnosti volí materiály tělesa s mnohem vyššími nároky než u běžných monolitních soustružnických nožů. Používaných typů ocelí na nástrojové tělesa je celá řada. [8]

Upínání soustružnických nožů

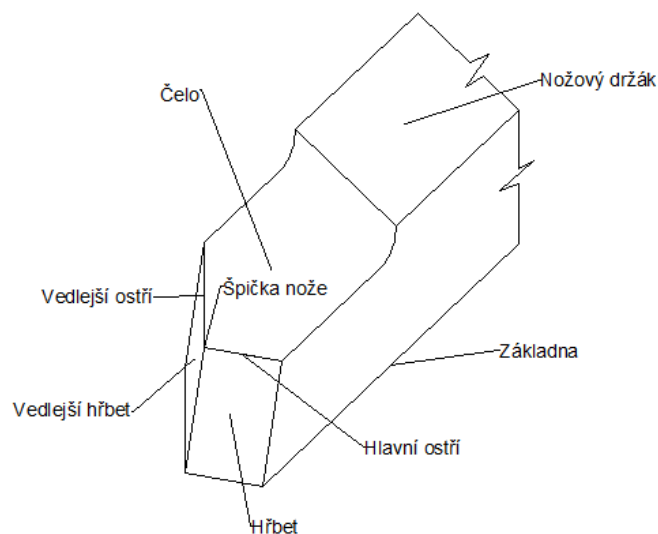
V poslední době roste využití soustružnických nožů s mechanicky upínanými vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD). A to z toho důvodu, že vyměnitelná břitová destička má obvykle více břitů a po jejím opotřebení se jednoduše vymění za jinou. Po výměně VBD není potřeba nástroj na stroji znovu pracně seřizovat. Při použití VBD dochází především ke snižování nákladů na spotřebu oceli nožových držáků a skladovací nároky.

Způsobů upínání VBD je celá řada, jejich společným cílem je dosáhnout pevnosti upnutí podobné pevnosti dosažené u pájených břitových destiček. Vyměnitelná břitová destička je uložena v lůžku tak, aby řezné síly, které na ni působí byly zachyceny lůžkem, upínacím mechanismem a držákem nástroje. Vybrání v tělese držáků nože tvoří lůžko pro vyměnitelnou břitovou destičku a tvarově odpovídá tvaru použité destičky. Je nutné, aby byla dodržena daná rovinnost dna lůžka.

Upínání VBD je prováděno převážně pomocí upínky, pákového upínacího systému, upínání upínkou tvaru klínu, upínání šroubem nebo šroubem a klínovou upínkou.



Obr. č. 8. Schéma soustružnického nože s VBD.



Obr. č. 9. Popis hlavních částí soustružnického nože.

3.2. Broušení

Broušení patří mezi historicky nejstarší způsoby obrábění. Lze charakterizovat jako obrábění mnohobřitým nástrojem s geometricky nedefinovatelnými řeznými hranami. Je to nejpoužívanější dokončovací metoda obrábění rovinných, válcových, vnitřních nebo tvarových ploch, kterou lze dosáhnout vysokých přesností a kvality povrchu obrobku. Jednotlivé břity tvoří brusná zrna tvrdých materiálů, která jsou v brousícím nástroji rozmístěna náhodně a jsou spojena vhodným pojivem. Mezi pojivem a zrny se vyskytují volná místa, která se nazývají póry.

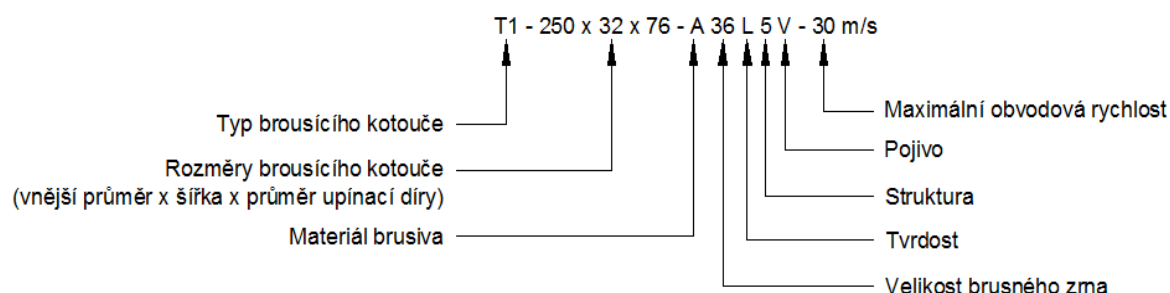
Kromě brousících nástrojů se také používá volné brusivo. Jedná se o volná brusná zrna přitlačovaná k broušenému povrchu přitlačnou deskou, trnem apod. Materiál je odebírán formou velmi malých třísek různých tvarů a velikostí.

Při broušení je v záběru velký počet břitů. Broušení se využívá k obrábění ploch s vysokým nárokem na přesnost a jakost obrobeného povrchu a také na obrábění velmi tvrdých a pevných materiálů, které se jiným způsobem obrábí špatně nebo to nelze vůbec (keramické materiály a kalené oceli). V poslední době se uplatňuje broušení výkonnými nástroji, kde objem odebraného materiálu v čase může být vyšší než u frézování. [4] [5] [6]

Nástroje:

Nástroje pro broušení jsou nejčastěji kotouče, segmenty, pásy nebo kameny. Jsou tvořeny brusnými zrny a pojivem. Zrna brusiva mohou být buď volná (brousící a leštící pasty a prášky), nebo vázaná a to v tuhých nebo pružných tělesech (brousící kotouče, superfinišovací a honovací kameny, brousící tělíska, apod.), nebo nanesená na brousících a leštících páslech, plátnech a papírech. Výhodou brusných nástrojů je tzv. samoostření, při kterém se po otupení břitu brusné zrna vylomí a tím dojde k odkrytí nových ostrých zrn brusiva. Brusné zrna musí mít vyšší tvrdost než obráběný materiál. Nejpoužívanějšími brousícími nástroji jsou brousící kotouče a jsou vyráběny v různých tvarových provedeních a velikosti. Aby bylo možno rozlišit jejich charakteristické vlastnosti, udává výrobce na každý kotouč označení. Toto označení určuje typ brousícího kotouče (tvar a rozměry), druh brousícího materiálu, zrnitost, tvrdost, strukturu, druh pojiva a maximální pracovní rychlost. [4]

Příklad označení brousícího kotouče:



obr. č. 10. Příklad označení brusného kotouče. [4]

Tvar brusných kotoučů:

Tvar a velikost brusných kotoučů se volí v závislosti na způsobu broušení, tvaru plochy broušené součásti, materiálu obrobku a jeho mechanických vlastnostech. Tvarů brusných kotoučů je celá řada. Mezi nejpoužívanější patří ploché kotouče, řezací, hrncové, miskové, kuželové a prstencové brousící kotouče. [4]

Materiál:

Materiály brusiva se rozdělují na přírodní (granát, smirek, pazourek) a umělá (umělý korund, karbid křemíku, diamant, kubický nitrid boru, karbid boru) viz. tabulka č. 2.

Materiál brusiva	Barva	Označení
<i>Přírodní:</i>		
Granát		G
Smirek		S
Pazourek		P
<i>Umělý:</i>		
Umělý korund Al_2O_3	Bílý	99A
	Růžový	98A
	Hnědý	96A
	Černý	85A
Karbid křemíku SiC	Zelený	49C
	černý	48C
Karbid boru B_4C		B
Kubický nitrid boru N_2B_3		BN
Diamant (přírodní i umělý)		D

Tab. č. 2. Materiály používané na výrobu brusných kotoučů. [4]

Zrnitost:

Podle požadované jakosti povrchu a požadovaného výkonu se volí velikosti zrn. Větší zrna se používají pro vyšší výkony broušení. Pro lepší jakost povrchu se volí zrna menších velikostí. Velikost zrn se označuje čísla od nejhrubšího po nejjemnější:

Hrubá	4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 22, 24,
Střední	30, 36, 40, 46, 54, 60,
Jemná	70, 80, 90, 100, 120, 150, 180,
Velmi jemná	220, 240, 280, 320, 360, 400, 500, 600, 800, 1 000, 1 200. [4]

Pojivo:

Pojivo slouží ke spojení brusných zrn do požadovaného tvaru brousícího nástroje. Musí držet zrna materiál pevně pohromadě, ale zároveň zajistit bezproblémové vylomení otupeného zrna.

Mezi nejpoužívanější pojiva patří keramické pojivo (označení V, univerzální, obvodová rychlost by neměla být větší než $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), silikátové pojivo (označení S, pružnější, ale méně pevné než keramické pojivo) a magnezitové pojivo (označení O, využívají se u broušení bez použití chladicí kapaliny, protože nesnesou vlhko). Dále se používají pojiva z umělé pryskyřice, kovová, galvanická atd. [4]

Tvrdost:

Tvrdost brusného nástroje určuje především druh a obsah pojiva. Stupně tvrdosti jsou značeny písmeny od A (nejměkčí) do Z (nejtvrďší). Tvrdost lze charakterizovat jako odpor zrna kladený proti vylomení z nástroje. Nejběžněji používané kotouče:

Měkké	I, J, K
Střední	L, M, N, O, P, Q
Tvrdé	R, S, T. [4]

Struktura:

Strukturu brousícího nástroje určuje velikost a vzdálenost pórů v 1 cm^3 nástroje. Pórovitost lze rozdělit do tří základních skupin na hutná, polohutná a pórovitá. Dále se pórovitost označuje čísla od 0 do 14. Čím vyšší číslo označení, tím mají póry od sebe větší vzdálenost. Hutné kotouče se používají u broušení tvrdších a křehčích materiálů, pórovité u odebírání velkého množství materiálu a při broušení větších dotykových ploch. [4]

Upínání:

Brusný kotouč nesmí být prasklý ani jinak poškozený, proto je nutné před upnutím provést zkoušku. Při poklepání dřevěnou paličkou na volně visící brusný kotouč na trnu musí vydávat čistý, jasný tón. V případě prasklého kotouče tón není čistý. [4] [5] [6]

Brousící kotouč se upíná na vřeteno stroje mezi dvě příruby, ale z důvodu křehkosti kotouče se mezi přírubu a kotouč vkládá podložka ze silnějšího papíru, nebo gumy. [4] [5] [6]

Vyvažování:

Při vysokých otáčkách by mohlo dojít k nežádoucímu chvění kotouče důsledkem nevyváženosti, proto je nutné kotouč před upnutím do stroje vyvážit (staticky i dynamicky). Chvění způsobuje zhoršení jakosti broušeného povrchu a je nepřípustné. Vyvažování se provádí na vyvažovacím stojánu pomocí pohyblivých vyvažovacích tělísek umístěných v přírubě kotouče. Na novějších CNC bruskách je možné vyvažovat kotouč za chodu stroje. [4] [5] [6]

Orovnávání:

Nerovnosti a zhoršená řezivost kotouče způsobená opotřebením a zanesením je možné odstranit orovnáváním. Mezi základní způsoby orovnávání patří orovnávání diamantovým orovnávačem (monokrystalické, polykrystalické, atd.), drtící orovnávací nástroje (kladkové, kolečkové), kontinuální orovnávače a orovnávací kameny. [4]

Základní metody broušení:

Podle způsobu práce a tvaru broušených ploch lze broušení rozdělit na:

- broušení do kulata- vnější (axiální, axiální hloubkové, zápichové, bezhroté)
vnitřní (axiální s podélným posuvem, zápichové, bezhroté, planetové)
- broušení rovinné- obvodem nebo čelem kotouče
- broušení tvarové- kopírovacím způsobem, tvarovými kotouči, na NC nebo CNC bruskách

Broušením do kulata zápichovým způsobem se brousí především krátké a tuhé obrobky (hřídele). Brousící kotouč je širší než obráběná plocha a odebírá přídavek na obrábění na jeden příčný posuv. [4] [5] [6]

Řezné podmínky:

Řezná rychlost je obvodová rychlost kotouče a je volena v závislosti na druhu brusného kotouče, materiálu pojiva a způsobu broušení. Běžně se volí v rozmezí 30 až 35 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, při použití speciálního pojiva lze dosáhnout i řezné rychlosti nad 80 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. [4] [5] [6]

$$v_c \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3)$$

D – průměr brousícího kotouče [mm]

n – počet otáček brousícího kotouče za časovou jednotku [$\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$]

Posuv udává velikost posunutí brusného kotouče za jednu otáčku obrobku.

Při broušení rotačních součástí se obrobek otáčí v opačném směru než brousící kotouč. Vzhledem k materiálu obráběné součásti a požadované kvalitě jeho povrchu se obvodová rychlost obrobku volí 20 – 40 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Z důvodu vyrovnaní pružných deformací soustavy stroj – nástroj – obrobek- upínač vzniklých řeznými silami a tepelnou roztažností se provádí vyjiskřování. Vyjiskřování se provádí přesným najetím brousícího kotouče na požadovaný rozměr a nechá se obrobek ještě několikrát přebrousit (otočit). [4] [5] [6]

Chlazení:

V důsledku broušení vznikají v místě řezu velké teploty, které je nutno snížit na přípustnou hodnotu aby nedocházelo k tepelnému roztažení obrobku, a tím vzniku nepřesností (podbroušení). Chladicí kapalina je přiváděna do místa řezu pod tlakem. Její hlavní funkcí je odvádět část tepla vzniklého při broušení, mazat a tím snižovat tření a odplavovat třísky a nečistoty z místa řezu. Při běžném broušení by měl být přiváděn asi 1 litr chladicí kapaliny za minutu. Nejčastěji používaná chladicí kapalina je emulze a elektrolyt. [4] [5] [6]

Stroje:

Stroje pro broušení se nazývají brusky. Podle tvaru broušených součástí, způsobu a účelu práce je nutné zvolit vhodný typ brusky. Mezi základní typy brusek patří hrotové brusky (umožňují brousit rotační, kuželové, tvarové a čelní rovinné plochy, obrobek je nejčastěji upnut mezi dvěma hroty), bezhroté brusky (používají se na broušení vnitřních a vnějších válcových a tvarových ploch), rovinné brusky (umožňují broušení rovinných ploch, a to obvodem nebo čelem kotouče, obrobek je upnut na magnetické desce, ve svěráku nebo pomocí upínek nebo na stole brusky), brusky na díry (používají se pro broušení válcových nebo kuželových otvorů menších rozměrů, obrobek je nejčastěji upnut ve sklíčidle) a speciální brusky (mezi ně patří např. nástrojařské a pásové brusky). [4] [5] [6]

3.3. NC a CNC stroje

Vývoj výrobních strojů ve strojírenství je v poslední době dán z velké části využitím výpočetních technik. Klasické výrobní stroje se v dílnách začínají uplatňovat už jenom v opravárenství a jsou nahrazovány počítačem řízenými stroji. Použitím počítačů a vhodných softwarů při řízení a automatizaci strojů se zásadním způsobem zvyšuje produktivita práce. Hlavní výhodou je rychlost, přesnost a spolehlivost těchto strojů. Ve většině případů nahrazují z části, nebo úplně práci člověka.

První programované stroje (NC stroje) byly řízeny programem vyznačeným na děrném štítku, nebo na děrné pásce. Využití měli především u tvarově složitějších součástí v sériových výrobcích. Postupem času byly stroje vybaveny počítačem, což znamenalo zrod CNC strojů, které jsou dnes používány ve většině výrobních dílen. Počítače výrazně urychlili a zjednodušili programování a řízení strojů. Postupným zvyšováním výkonů počítačů a softwarů rostou nároky na kvalitu produkovaných výrobků. Pro CNC stroje je charakteristické to, že ovládání pracovních funkcí zajišťuje řídicí systém pomocí programu tvořeným alfanumerickými znaky. Program slouží k ovládání silových prvků stroje.

CNC stroje mimo soustružení, frézování a broušení pokrývají i další technologie jako je tváření, řezání, měření, svařování a další. Výrobci CNC strojů jsou schopni jakkoliv přizpůsobit stroj požadavkům zákazníka. Od jednoúčelových specializovaných strojů, přes CNC automaty, stroje s vícerym řízením, CNC měřicí stroje až po CNC obráběcí centra, na kterých je možné provádět více technologických operací najednou. Doplněním

automatizovaných strojů o manipulační prostředky, prostředky kontroly kvality a dalšími je možné vytvořit pružné výrobní linky. Tyto výrobní linky jsou využívány pro výrobu menších sérií podobných výrobků. Proti tvrdým výrobním linkám mají výhodu rychlého a snadného přeprogramování na jiný typ výrobku.

Podle druhu opracovávaných výrobků lze CNC stroje rozdělit na stroje pro obrábění rotačních součástí a stroje pro obrábění plochých nebo skříňových součástí.

3.4. Kontrola

Ve strojírenství se nejčastěji jako způsob kontroly používá měření. Měření je soubor operací, jejichž cílem je kvalitativní a kvantitativní určení hodnoty veličiny. Výslednou hodnotou měřené veličiny určuje obsažený počet jednotek. Měřením se zabývá obor nazývaný metrologie. Pro určování metrologických veličin se používá mezinárodní soustava jednotek SI, která udává základní veličiny, jednotky a značky dané hodnoty. Základními veličinami jsou délka, hmotnost, čas, elektrický proud, termodynamická teplota, látkové množství a svítivost. Dále existují odvozené veličiny, které jsou funkcí základních veličin. Základními způsoby měření je měření skutečných hodnot a měření porovnávací. [9]

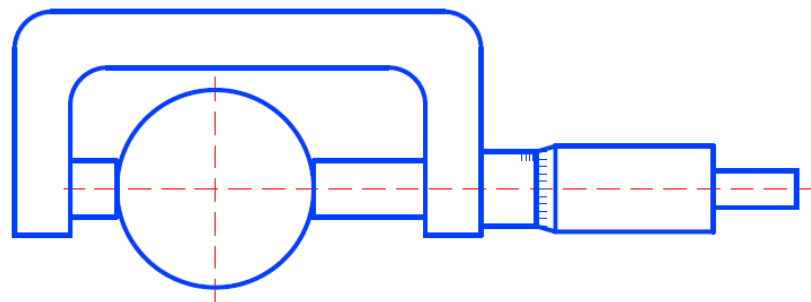
Kontrola vnějších průměrů hřídelí

Měření průměrů hřídelí je ve skutečnosti měření délkových rozměrů, při níž se zjišťuje vzdálenost dvou bodů. Mezi nejčastěji používané způsoby kontroly průměrů patří kontrola posuvným měřidlem, třmenový mikrometr a obkročným kalibrem.

Posuvné měřidlo je jednoduché ruční měřidlo sloužící pro měření délkových rozměrů. Umožňuje měřit rozměry vnější, vnitřní i hloubkové. Skládá se z pevné a posuvné části. Naměřené hodnoty se zjišťují na stupnici nonia. Konstrukce a rozměry těchto měřidel jsou určeny příslušnými normami. Podle konstrukčního uspořádání slouží k měření méně přesných rozměrů s přesností 0,5 mm nebo 0,05 mm. Pro rychlejší zjištění naměřených hodnot se používají digitální posuvná měřidla. Mnohem přesnějším způsobem je měření mikrometry. [2]

Mikrometry jsou měřidla pracující na principu mikrometrického šroubu. Jedná se o přesný šroub s malým stoupáním polohující měřicí dotečky. Z důvodu dosažení přesnosti stoupání se mikrometrické šrouby vyrábí v délkách 25 mm. Z tohoto důvodu jsou k dostání

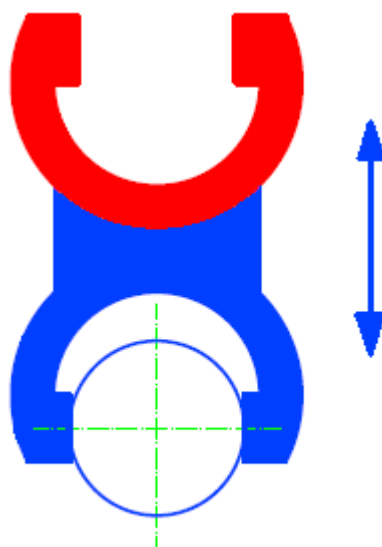
měřidla odstupňovaná po 25 mm (0-25 mm, 25-50 mm,...). Pro zkalibrování jsou mikrometry sloužící k měření rozměrů nad 25 mm dodávány s kalibračním válečkem. Hlavním zástupcem mikrometrických měřidel je třmenový mikrometr sloužící k měření vnějších rozměrů. Z důvodu dosažení maximálních přesností (až 0,001 mm) se vyrábí s vysokou tuhostí a jsou tepelně izolovány od teploty rukou pracovníka. Stejně jako posuvná měřidla, jsou i mikrometry k dostání v digitálním provedení. [10]



Obr. č. 11. Měření průměru hřídele třmenovým mikrometrem.

Kalibry

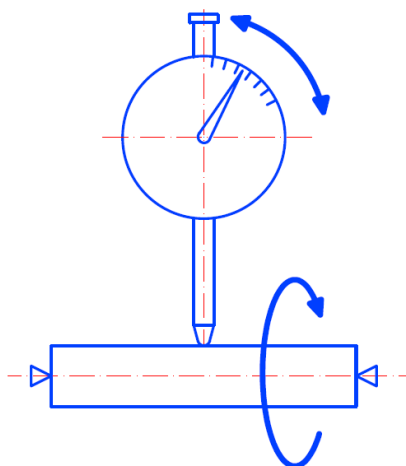
Pomocí kalibrů se neměří skutečný rozměr součásti, ale kontroluje, zda je součást v dané toleranci: dobrá, opravitelná/neopravitelná. Kalibry se rozdělují do dvou základních skupin na kalibry netoleranční a kalibry toleranční. Netoleranční mají pouze jeden tvar, kterým se porovnává s kontrolovaným kusem. Toleranční kalibry mají dvě měřící části, a to dobrou a zmetkovou stranu udávající horní a dolní mezní rozměr. Dobrá strana kalibru musí přes kontrolovaný rozměr projít vlastní vahou, zmetková strana projít nesmí. Zmetková strana kalibru se nejčastěji značí červenou barvou, je kratší, nebo má sražené hrany. V praxi se rozeznávají 3 druhy kalibrů: dílenské, přebírací a porovnávací. Dílenské se používají ve výrobě. Přebíracích kalibrů se používá během přebírání výrobků zákazníkem. Porovnávací kalibry se používají pro kontrolu přebíracích a dílenských kalibrů. Kalibry je možné kontrolovat vnější i vnitřní rozměry (díry). [10]



Obr. č. 12. Kontrola průměru hřídele mezním kalibrem na vnější rozměry (obkročný kalibr).

Kontrola házivosti

Pro kontrolu házivosti se používá číselníkových úchylkoměrů. Číselníkový úchylkoměr slouží především k porovnávacímu měření, při kterém rafička na stupnici znázorňuje odchylku od zadaného rozměru. Úchylkoměrem se přiloží na dotyk k hřídeli a hřídel se otáčí. Lineární pohyb dotyku číselníkového úchylkoměru je transformačním mechanismem převeden na rotační pohyb rafičky po stupnici. Nejběžněji vyráběné číselníkové úchylkoměry znázorňují vzdálenost jednoho dílku na stupnici 0,01 mm. Vyrábí se i v digitální podobě s číslicovým displejem. Výhodou digitálních úchylkoměrů je rychlé statické vyhodnocení naměřených dat, ale oproti číselníkovým úchylkoměrům mají horší názornost. [10]

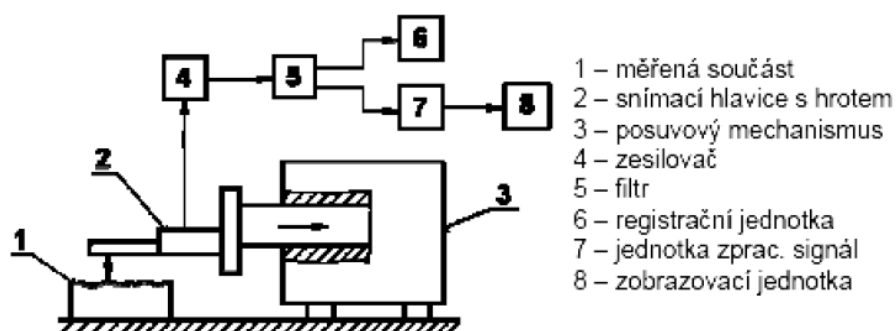


Obr. č. 13. Schéma měření házivosti hřídele.

Kontrola drsnosti povrchu

Kontrola drsnosti povrchu se provádí několika způsoby a to buď porovnáváním s etalony drsnosti, měřením metodou světelného řezu, měřením s využitím interference světla, nebo pomocí dotykových přístrojů pro měření parametrů drsnosti tzv. profilometrů. Při kontrole porovnáváním s etalony drsnosti je nutné, aby materiál etalonu byl stejný jako materiál kontrolovaného dílce, dále musí mít stejný tvar a musí být obroben stejnou technologií.

Nejběžnějším způsobem měření drsnosti povrchu je měření dotykovým profilometrem. Měřicí hrot přejíždí přes měřený povrch a dotykový profilometr vypočítá a zobrazí skutečnou hodnotu drsnosti povrchu. Skládá se z mechanické a elektronické části. Mechanická část se skládá ze stolku pro umístění měřené součásti a ramene se snímacím hrotem, jehož pohyb zajišťuje nejčastěji elektromotor. Elektronická část zajišťuje transformaci mechanického signálu generovaného snímacím hrotem na elektrický signál. Výsledné hodnoty mimo drsnost povrchu ovlivňuje poloměr zaoblení snímacího hrotu a jeho vrcholový úhel, měřicí síla, geometrické uspořádání systému snímače, rychlost změny měřicí síly a poloměr zaoblení kluzné patky snímače. [11]



Obr. č. 14. Princip měření dotykovým profilometrem. [11]

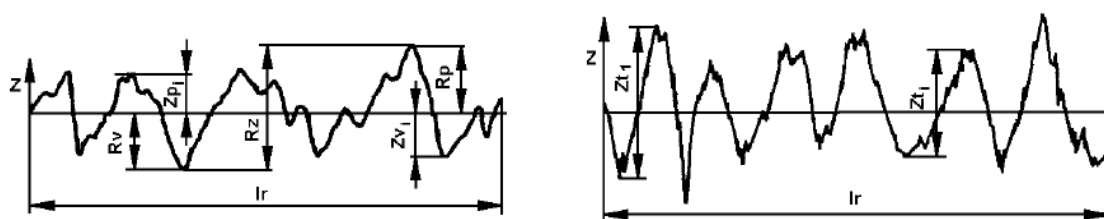
Struktura povrchu se člení podle rozteče určitých nerovností na jednotlivé složky. Jedná se o složky s nejmenší roztečí, které tvoří drsnost povrchu, složku vlnitosti a složku s největší roztečí nerovností, kterou určuje základní profil. Drsnost povrchu se značí velkým písmenem R a malým písmenem podle druhu parametru. [11]

Značení výškových parametrů:

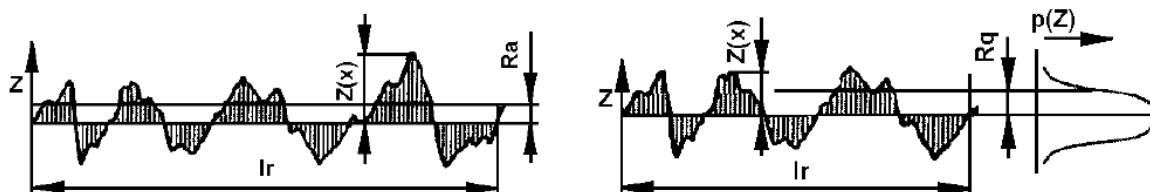
R_p – největší výška výstupku profilu („výška Z_p největšího výstupku profilu v rozsahu základní délky l_r“ [11])

R_v – největší hloubka prohlubně („hloubka Z_v nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky l_r“ [11])

- R_z** – největší výška profilu („součet výšky Z_p největšího výstupku a hloubky Z_v nejnížší prohlubně v rozsahu základní délky l_r “ [11])
- R_c** – průměrná výška profilu (průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky l_r “ [11])
- R_t** – celková výška profilu („součet výšky Z_p nejvyššího výstupku a hloubky Z_v nejnížší prohlubně v rozsahu vyhodnocované délky l_n “ [11])
- R_a** – střední aritmetická úchylka profilu („aritmetický průměr absolutních hodnot souřadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r “ [11])
- R_q** – průměrná kvadratická úchylka profilu (průměrná kvadratická hodnota pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r “ [11])



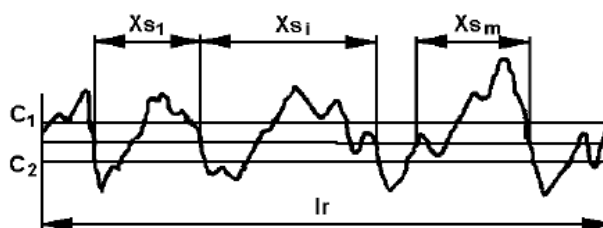
Obr. č. 15. Parametry profilu povrchu R_v , R_p , R_z , R_c . [11]



Obr. č. 16. Parametry profilu povrchu R_a , R_q . [11]

Značení délkových parametrů:

- R_{Sm}** – průměrná vzdálenost prvků profilu („průměrná hodnota šířek X_s prvků profilu v rozsahu základní délky l_r “ [11])

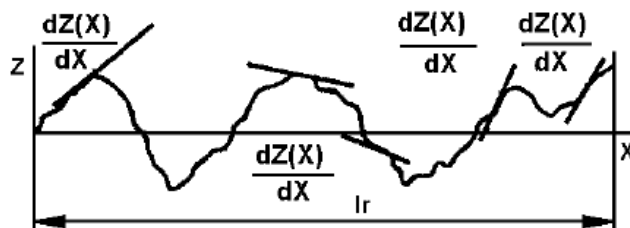


Obr. č. 17. Parametry profilu R_{Sm} . [11]

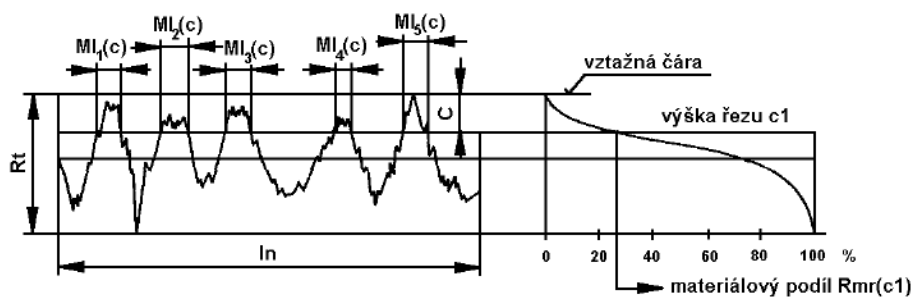
Značení tvarových parametrů:

$R\Delta q$ – průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu („průměrná kvadratická hodnota sklonu pořadnic dZ/dX v rozsahu základní délky l_r “ [11])

Rmr° – materiálový podíl profilu („procentuální podíl délky materiálu profilu MI° na dané úrovni c k vyhodnocované délce l_n “ [11])



Obr. č. 18. Parametry profilu $R\Delta q$. [11]



Obr. č. 19. Parametry profilu Rmr° . [11]

Pro tuto bakalářskou práci budou v následujících kapitolách nejdůležitějšími parametry drsnosti Rz a Rmr° .

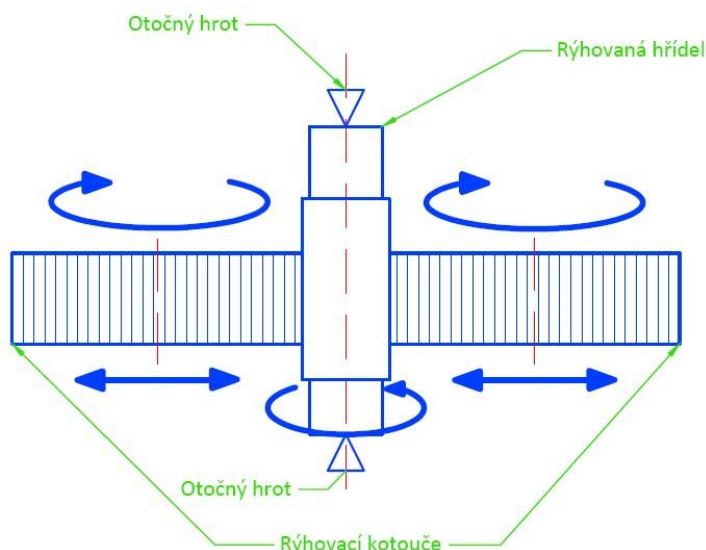
4. Návrh technologie výroby pro danou součást

4.1. Původní způsob výroby

Na dílně obrobny rotorů začíná výroba hřídelí na CNC soustruzích. Nejčastěji používané stroje jsou SP 12 CNC vyrobené firmou CZ.TECH (CNC stroje Čelákovice), na kterých se provádí soustružení předem na určitou délku nařezané hřídeloviny s navrtanými středícími důlky. Upnutí hřídeloviny ve stroji je prováděno mezi hroty, u malých hřídelí osových výšek se používá upnutí pomocí kleštiny do vřetena stroje s podepřením koníkem. Po soustružení, přeměření všech průměrů, délek a házivosti výroba pokračuje frézováním drážek pro pero. Průměrové rozměry se měří pomocí mikrometrů s rozmezím 0-25mm, u větších průměrů hřídelí mikrometry s rozmezím 25-50mm. Délkové rozměry jsou měřeny posuvným měřidlem a hloubkoměrem. Z důvodu rychlejšího měření je většina použitých měřidel digitálních. Maximální povolená házivost hřídele je 0,07 mm na průměru a je měřena pomocí číselníkového úchylkoměru. Po kontrole rozměrů a očištění putuje hřídel k vyfrézování drážky.

Drážky pro pero se frézují na strojích CZ.TECH E900, což jsou horizontální CNC frézky. Jedná se o drážky zápusné uzavřené, popř. polouzavřené. Nástrojem je dvoubřitá čepová fréza. Pero na elektromotoru zajišťuje přenos otáčivého pohybu rotoru na výstupu, a proto je nutné, aby drážka měla přesný rozměr. Pero je nalisováno do drážky až během konečné montáže elektromotoru. Po vyfrézování drážky je přeměřena její délka, vzdálenost od kraje hřídele, šířka, hloubka a sousost. Délka drážky a její vzdálenost od okraje se měří pomocí posuvného měřidla. Šířka pomocí snímače drážky a pro kontrolu tzv. měřicí kostkou. Hloubka drážky se měří mikrometrem se zbroušenou dotykovou částí tak, aby se bez problému vešla do drážky. Po přeměření a očištění se provádí rýhování, nebo lisování.

Hřídele malých osových výšek je nutné rýhovat, a to z důvodu následného snazšího a spolehlivějšího nalisování do rotoru. Hřídele velkých osových výšek se nerýhují, pouze se pečlivě před lisováním mažou. Rýhování je prováděno na stroji zvaném rýhovačka tak, že se hřídel upne za středící důlky mezi dva hroty a následně je nástroji provedeno rýhování. Nástroje jsou dvě ozubená kola se stejnou velikostí, směrem a rychlostí otáčení. Ozubená kola se z části vtisknou do hřídele, tím naruší její povrch a vytvoří rovnoběžné rýhy. Rýhování je prováděno na části průměru hřídele, na kterém bude nalisován rotor. Kontrola průměru rýhované části se provádí obkročným kalibrem.

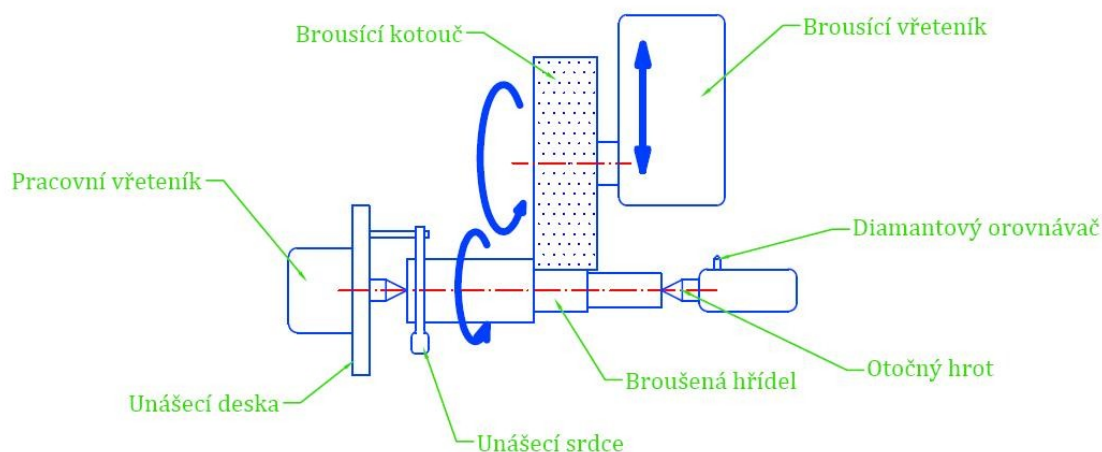


Obr. č. 20. Schéma rýhování hřídele.

Následuje lisování hřídele do rotoru. Před lisováním je provedeno mazání z důvodu snížení tření a zabránění odření hřídele rotorem. Na konec hřídele se nasadí tzv. nárazka, která při lisování zajistí nalisování hřídele do přesné vzdálenosti od okraje. Vzdálenost nalisovaného rotoru od okraje hřídele se měří hloubkoměrem. Dále je potřeba hřídel vyrovnat.

Protože nalisování hřídele do rotoru je prováděno pod velkým tlakem, tak se může stát, že se hřídel prohne. Při následném broušení a soustružení povrchu rotoru by mohlo docházet k nárazům nástroje a mohla by se na povrchu vyskytovat neobrobená místa. Z tohoto důvodu je prováděno vyrovnávání. Hřídel se upne mezi hroty a změří házivost. V případě nadměrné házivosti se na rotor pomocí lisu zatlačí tak, aby došlo k vyrovnání hřídele. Proces se opakuje do té doby, než je rozsah házivosti v dané toleranci.

Poté následuje broušení částí hřídele, na které budou nalisována ložiska. Broušení je prováděno na stroji Junker EJ 30, což je hrotový brousící stroj pro vnější broušení válcových ploch. Broušení je prováděno zapichovací metodou. Hodnota dosažené povrchové drsnosti bývá $R_z 6.3 \mu m$. Měření broušených rozměrů je prováděno pomocí digitálního mikrometru s přesností 0,001 mm popř. obkročným kalibrem. Pro maximální přesnost je nutné mikrometr po každém pátém měření seřídit pomocí kalibračního válečku. Při měření, manipulaci a čištění je dbáno zvýšené opatrnosti, aby nedošlo k poškrábání nebo jinému poškození obroušených ploch. Další operací je soustružení rotoru.



Obr. č. 21. Schéma broušení rotační plochy zapichovací metodou.



Obr. č. 22. CNC brousící stroj Junker EJ30. [12]

Z důvodu nepřesného povrchu se zbytky přebytečného materiálu po odlévání je nutné povrch rotoru přesoustružit. Jeho rozměr musí být přesně dodržen dle dané tolerance. Příliš velký průměr rotoru by se nevešel do statorového vinutí a příliš malý by způsobil nadměrnou spotřebu elektrické energie elektromotoru. Povrch rotoru se soustruží na strojích CZ.TECH SP 12 CNC. Upnutí je provedeno pomocí kleštiny ve vřetenu stroje s podepřením druhého konce hřídele otočným hrotem. Rozměr soustruženého rotoru se kontroluje pomocí pasometru a popř. pomocí obkročného kalibru. Po přeměření a očištění polotovaru dochází k poslední operaci na dílně obrobny rotorů, což je vyvažování.

Každý typ rotoru má danou hodnotu vyvážení. Vyvažování se provádí na stroji SCHENK CAB 590-HI. Po upnutí dílce a spuštění se na displeji stroje zobrazí aktuální hodnota vyvážení. Pro dosažení zadané hodnoty vyvážení se na kolíky rotoru přidávají podložky různé váhy. Poté se konec kolíku rozlisuje, nebo jinak zajistí, aby nedošlo ke

ztrátě vyvažovacích podložek. U některých typů rotorů je nutné přebytečné kolíky odstříhnout. Následuje přeprava rotoru na dílnu montáže, kde se provede kompletní sestavení elektromotoru.

4.2. Navrhovaný způsob výroby

Výroba hřídelí bude postupovat stejně jako během původního způsobu (soustružení, frézování drážek, rýhování, lisování, vyrovnávání) až po operace broušení a soustružení povrchu rotoru. Tyto dvě operace budou prováděny na jednom stroji na jedno upnutí. Tímto způsobem odpadne nákladná práce na brusce a dojde k výraznému zkrácení manipulačních, upínacích a seřizovacích časů.

Materiál hřídele: označení dle EN 10025-2:2004 : **E335**

(označení dle ČSN: 11 600)

Jedná se o ocel obvyklých jakostí s vyšším obsahem uhlíku vhodná na součásti, které jsou namáhány staticky i dynamicky, bez vyžadování svařitelnosti a vystavení velkému měrnému tlaku. Vhodná pro výrobu hřídelí, os, řetězových kol, ozubených kol, pístnic, čepů, pák, kolíků, podpěrek, držátek, šroubů a matic, objímek, per, ozubených hřebenů, spojek, kladek, tělesa fréz apod. [16]

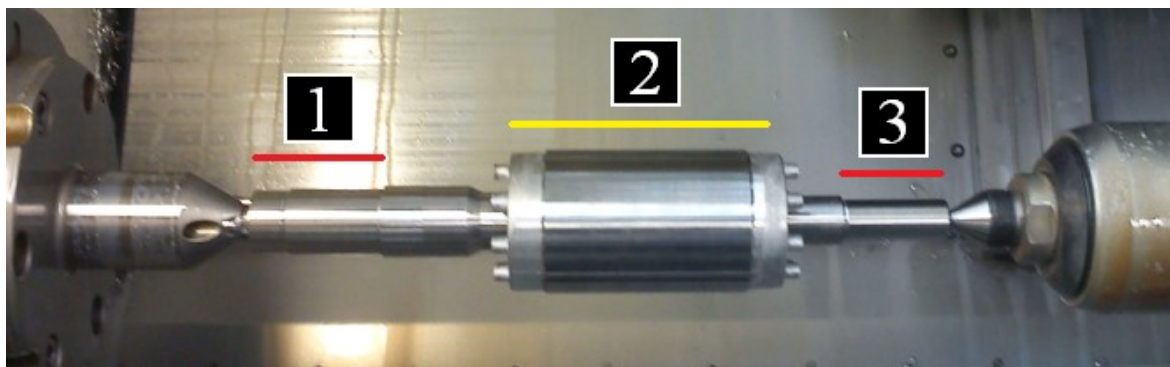
Z důvodu následného spolehlivého nalisování ložisek na hřídel musí opracovaný povrch dosahovat následujících požadavků:

$\phi 20 \text{ k } 6$

$R_z - 8 \mu\text{m}$

$R_{mr\odot} > 65\%$

Během obrábění budou postupně podle *Obr. č. 23.* soustruženy podélným soustružením 3 části dílce. Přídavky na soustružení hřídele jsou stejné jako přídavky na broušení a budou odebírány na jeden záběr tzn. hloubka řezu bude 0,3 mm. Povrch rotoru je obráběn jiným nástrojem, a to vyměnitelnou břitovou destičkou Sandvik Coromat SNMG 12 04 12-MM 2025 upnutou v tělese držáku.



Obr. č. 23. Postup soustružení (1,3 - hřídel, 2 - rotor).

4.2.1. Volba obráběcího stroje

Obráběcí stroj byl zvolen pro svou dostupnost v závodě Elektromotory Mohelnice, spolehlivost a tuhost vedení CTX 420 linear GILDEMEISTER. Jedná se o univerzální soustruh, který svým výkonem dosahuje výrazného zvýšení produktivity. [13]

Řídicí systém	Siemens Sinumeric 840 D
Oběžný průměr nad vodícími plochami	680 mm
Průměr sklíčidla	250 mm
Pracovní vřeteno - levé	Průměr vřetena – 5 mm
	Vrtání vřetena – 79 mm
Pracovní vřeteno - pravé	Průměr vřetena – 5 mm
	Vrtání vřetena – 57 mm
Rozsah otáček	35 – 7000 ot · min ⁻¹
Max. rychlost obrábění	5000 ot · min ⁻¹
C-osa-rychlost	250 ot · min ⁻¹
Počet nástrojů	12
Výkon motoru	35/25 kW
Rozměry stroje	4,9 x 2,5 x 2,1 m
Hmotnost stroje	6500 Kg

Tab. č. 3. Tabulka parametrů stroje CTX 420 linear. [1]



Obr. č. 24. Stroj CTX 420 linear. [13]

Upnutí musí zajistit co nejpřesnější souosost hřídele, a proto je zvoleno upnutí mezi hroty. Jeden hrot je pevný a druhý otočný. Z důvodu zkrácení upínacích časů bude použit čelní unášecí hrot (odpadne čas na upínání pomocí unášecího srdce). Odpružený hrot unašeče podpírá hřídel za středící důlek a unášecí čepy lehce vtlačené do hřídele přenáší otáčivý pohyb vřetene.

4.2.2. Zvolené nástroje

Volba nástroje spočívá především ve volbě vhodné vyměnitelné břitové destičky upnuté v tělese nástroje a ustavení špičky do osy soustružení.

Zkoušení bude prováděno pomocí tří vyměnitelných břitových destiček určených pro dokončovací obrábění materiálů skupiny P, do které spadá materiál hřídele.

Mezi materiály skupiny P patří uhlíkové oceli, legované oceli, nástrojové oceli uhlíkové, nástrojové legované oceli, uhlíková celolitina, nízko a středně legované ocelolity, feritické a martenzitické korozivzdorné oceli. [15]

Zvolené VBD pro zkoušení:

	A	B	C
Výrobce	Sandvik Coromat	Pramet	Sandvik Coromat
ISO značení	DCMX 11 T3 04-WF	DCMW 11 T3 04	DCMT 11 T3 04-PF
ANSI značení	DCMX 3(2.5)1-WF	DCMW 3(2.5)1	DCMT 3(2.5)1-PF
Označení materiálu	5015	6605	4225

Tab. č. 4. Tabulka zkoušených VBD.

Technické parametry zvolených vyměnitelných břitových destiček:

A. Sandvik Coromat DCMX 11 T3 04-WF

označení materiálu: 5015 (cermet)

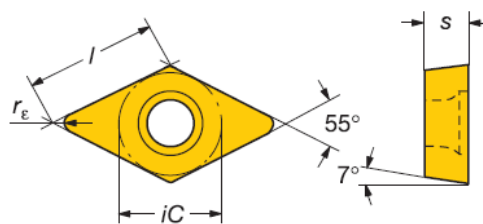
použití: dokončovací obrábění

určené pro obrábění skupiny materiálů: P

doporučená hloubka řezu a_p : 0,3-2 mm

doporučený posuv na otáčku f_n : 0,07-0,25 mm/ot

doporučená řezná rychlost v_c : 295-440 m/min



Obr. č. 25. Schéma tvaru VBD. [14]

l	11 mm
r_{ϵ}	0,4 mm
iC	9,525 mm
s	3,97 mm

Tab. č. 5. Rozměry vyměnitelné břitové destičky DCMX 11 T3 04-WF. [14]

B: Pramet DCMW 11 T3 04

označení materiálu: 6605

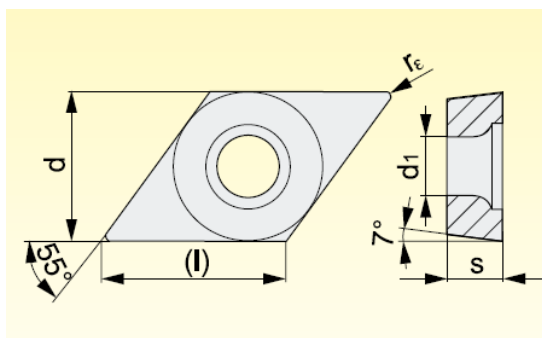
použití: dokončovací až hrubovací soustružení

určené pro obrábění skupiny materiálů: K, P, H

velikost VBD: 11T3

doporučená hloubka řezu a_p : 0,3-2,9 mm

doporučený posuv na otáčku f_n : 0,05-0,24



Obr. č. 26. Schéma tvaru VBD. [15]

l	11,6 mm
r_{ϵ}	0,4 mm
d	9,525 mm
s	3,97 mm
d_1	4,40 mm

Tab. č. 6. Rozměry vyměnitelné břitové destičky DCMW 11 T3 04. [15]

označení materiálu: 4225

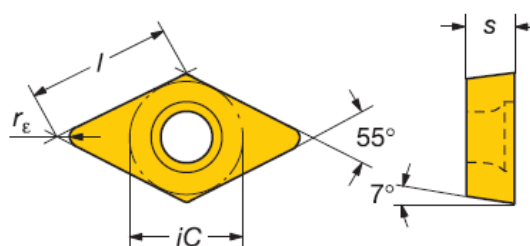
použití: dokončovací obrábění

určené pro obrábění skupiny materiálu: P

doporučená hloubka řezu a_p : 0,11-2 mm

doporučený posuv na otáčku f_n : 0,06-0,23 mm/ot

doporučená řezná rychlost v_c : 295-440 m/min



Obr. č. 27: Schéma tvaru VBD. [14]

l	11 mm
r_ε	0,4 mm
iC	9,525 mm
s	3,97 mm

Tab. č. 7. Rozměry vyměnitelné břitové destičky. [14]

4.2.3 Zvolené řezné parametry pro zkoušky

- Při otáčkách vřetene $n = 4\,700 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ je dle vzorce (1) výsledná řezná rychlost $v_c = 295,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 20 \cdot 4700}{1000} = 295,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Zvolené řezné parametry 1.

průměr hřídele = 20 mm

hloubka řezu $a_p = 0,3 \text{ mm}$

posuv $f_n = 0,12 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

řezná rychlost $v_c = 295,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Zvolené řezné parametry 2.

průměr hřídele = 20 mm

hloubka řezu $a_p = 0,3$ mm

posuv $f_n = 0,1$ mm \cdot ot $^{-1}$

řezná rychlost $v_c = 295,3$ m \cdot min $^{-1}$.

Zvolené řezné parametry 3.

průměr hřídele = 20 mm

hloubka řezu $a_p = 0,3$ mm

posuv $f_n = 0,08$ mm \cdot ot $^{-1}$

řezná rychlost $v_c = 295,3$ m \cdot min $^{-1}$.

• Při otáčkách vřetene $n = 4\,800$ ot \cdot min $^{-1}$ je dle vzorce (1) výsledná řezná rychlost $v_c = 301,6$ m \cdot min $^{-1}$

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 20 \cdot 4800}{1000} = 301,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Zvolené řezné parametry 4.

průměr hřídele = 20 mm

hloubka řezu $a_p = 0,3$ mm

posuv $f_n = 0,12$ mm \cdot ot $^{-1}$

řezná rychlost $v_c = 301,6$ m \cdot min $^{-1}$.

Zvolené řezné parametry 5.

průměr hřídele = 20 mm

hloubka řezu $a_p = 0,3$ mm

posuv $f_n = 0,1$ mm \cdot ot $^{-1}$

řezná rychlost $v_c = 301,6$ m \cdot min $^{-1}$.

Zvolené řezné parametry 6.

průměr hřídele = 20 mm

hloubka řezu $a_p = 0,3$ mm

posuv $f_n = 0,08$ mm \cdot ot $^{-1}$

řezná rychlost $v_c = 301,6$ m \cdot min $^{-1}$.

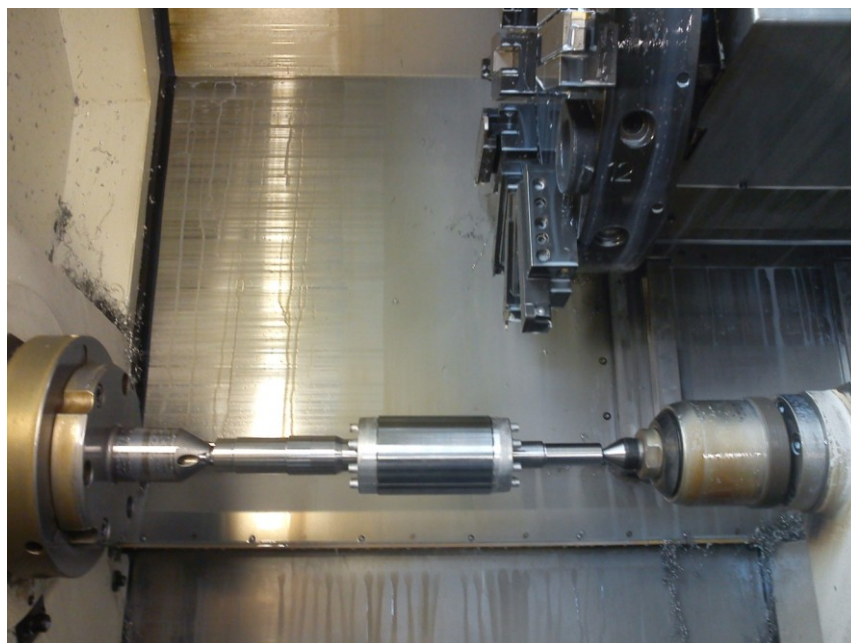
Při vyšší řezné rychlosti v_c zkoušky nebylo možné provést z důvodu omezení maximálních otáček stroje.



Obr. č. 28. Neopracovaný kus.



Obr. č. 29. Hotový kus.



Obr. č. 30. Pracovní prostor stroje.

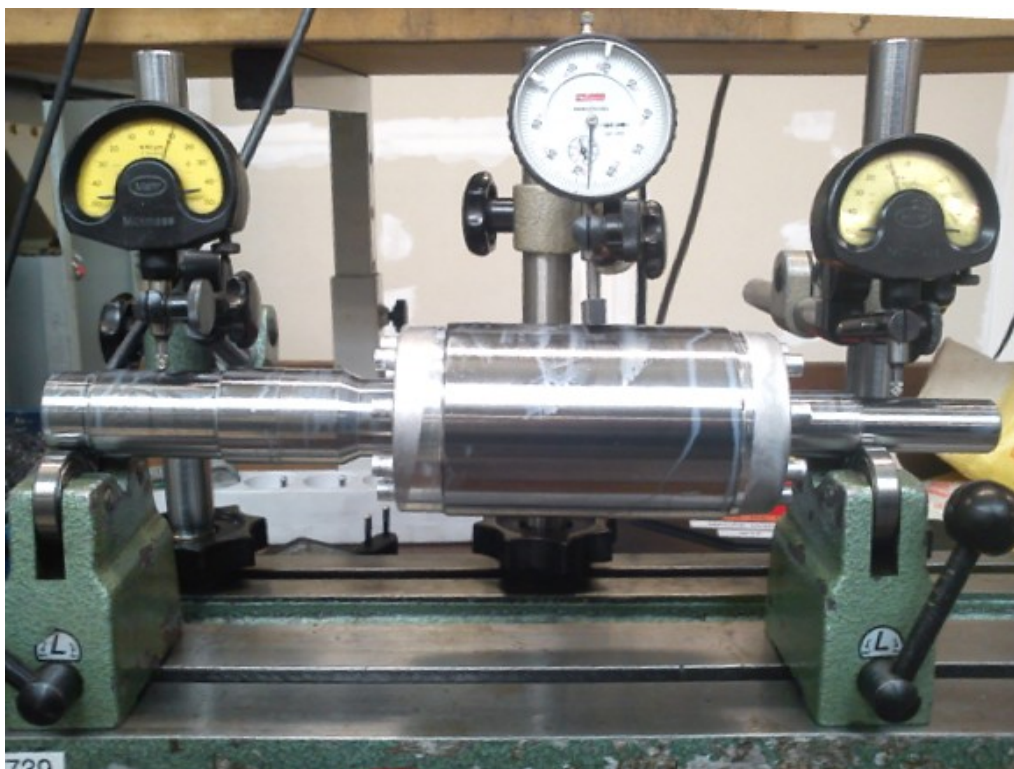
4.2.4 Kontrola a měření

Kontrola průměru byla měřena digitálním mikrometrem značky Mitutoyo s měřicím rozsahem 0–25 mm a přesností 0,001 mm.



Obr. č. 31. Digitální mikrometr.

Kontrola házivosti byla provedena pomocí číselníkových úchylkoměrů upnutých ve stojanech. Hřídel byla pro zajištění polohy a otáčivého pohybu uložena na ložiskách. Velikost házivosti nesměla překročit hodnotu 0,004 mm na měřeném průměru hřídele.



Obr 32. Měření házivosti.

Měření drsnosti bylo provedeno metodou dotykového hrotu pomocí mobilního měřicího přístroje HOOMEL TESTER T1000 určeným pro velice přesné měření parametrů drsnosti povrchu. Měřenými parametry byly hodnoty Rz a Rmr.



Obr. č. 33. přístroj na měření drsnosti HOOMEL TESTER T1000.

5. Diskuze experimentů

Po obrobení bylo provedeno očištění a následné měření průměrů hřídele, házivosti a drsnosti povrchu. Velikost průměrových rozměrů je možné ovlivnit změnou korekcí nástroje v řídicím systému stroje a velikost házivosti je závislá na přesném upnutí hřídele do osy soustružení. Tudíž pro tuto práci je nejdůležitějším měřeným parametrem drsnost povrchu. Zkoušky pro každý zvolený parametr byly provedeny na deseti kusech a do tabulek č. 8. až 13. byly zaznamenány průměrné velikosti naměřených drsností povrchu Rz a Rmr.

Zvolené řezné parametry 1.

Výsledné hodnoty drsností povrchu při řezné rychlosti $v_c = 295,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, hloubce řezu $a_p = 0,3 \text{ mm}$, a posuvu $f_n = 0,12 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

Použitá VBD	DCMX 11 T3 04-WF	DCMW 11 T3 04	DCMT 11 T3 04-PF
Rz	8,2 μm	8,3 μm	8,3 μm
Rmr	59,2 %	57,3 %	53,7 %

Tab. č. 8. Průměrné výsledky naměřených hodnot drsnosti povrchu při posuvu $f_n = 0,12 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ a otáčkách vřetene $n = 4\,700 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.

Zvolené řezné parametry 2.

Výsledné hodnoty drsností povrchu při řezné rychlosti $v_c = 295,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, hloubce řezu $a_p = 0,3 \text{ mm}$, a posuvu $f_n = 0,1 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

Použitá VBD	DCMX 11 T3 04-WF	DCMW 11 T3 04	DCMT 11 T3 04-PF
Rz	8,1 μm	8,2 μm	8,2 μm
Rmr	54,8 %	65,2 %	68,6 %

Tab. č. 9. Průměrné výsledky naměřených hodnot drsnosti povrchu při posuvu $f_n = 0,1 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ a otáčkách vřetene $n = 4\,700 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.

Zvolené řezné parametry 3.

Výsledné hodnoty drsností povrchu při řezné rychlosti $v_c = 295,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, hloubce řezu $a_p = 0,3 \text{ mm}$, a posuvu $f_n = 0,08 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

Použitá VBD	DCMX 11 T3 04-WF	DCMW 11 T3 04	DCMT 11 T3 04-PF
Rz	8,1 μm	8,1 μm	8,1 μm
Rmr	68,4%	67,3%	59,8%

Tab. č. 10. Průměrné výsledky naměřených hodnot drsnosti povrchu při posuvu $f_n = 0,08 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ a otáčkách vřetene $n = 4\,700 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.

Zvolené řezné parametry 4.

Výsledné hodnoty drsností povrchu při řezné rychlosti $v_c = 301,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, hloubce řezu $a_p = 0,3 \text{ mm}$, a posuvu $f_n = 0,12 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

Použitá VBD	DCMX 11 T3 04-WF	DCMW 11 T3 04	DCMT 11 T3 04-PF
Rz	8,1 μm	8,2 μm	8,2 μm
Rmr	58,2%	59,3%	52,8%

Tab. č. 11. Průměrné výsledky naměřených hodnot drsnosti povrchu při posuvu $f_n = 0,12 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ a otáčkách vřetene $n = 4\,800 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.

Zvolené řezné parametry 5.

Výsledné hodnoty drsností povrchu při řezné rychlosti $v_c = 301,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, hloubce řezu $a_p = 0,3 \text{ mm}$, a posuvu $f_n = 0,1 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

Použitá VBD	DCMX 11 T3 04-WF	DCMW 11 T3 04	DCMT 11 T3 04-PF
Rz	8,1 μm	8,1 μm	8,2 μm
Rmr	62,2%	61,3%	59,8%

Tab. č. 12. Průměrné výsledky naměřených hodnot drsnosti povrchu při posuvu $f_n = 0,1 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ a otáčkách vřetene $n = 4\,800 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.

Zvolené řezné parametry 6.

Výsledné hodnoty drsností povrchu při řezné rychlosti $v_c = 301,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, hloubce řezu $a_p = 0,3 \text{ mm}$, a posuvu $f_n = 0,08 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

Použitá VBD	DCMX 11 T3 04-WF	DCMW 11 T3 04	DCMT 11 T3 04-PF
Rz	8 μm	8 μm	8,1 μm
Rmr	78,2%	67,3%	72,8%

Tab. č. 13. Průměrné výsledky naměřených hodnot drsnosti povrchu při posuvu $f_n = 0,08 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ a otáčkách vřetene $n = 4\,800 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.

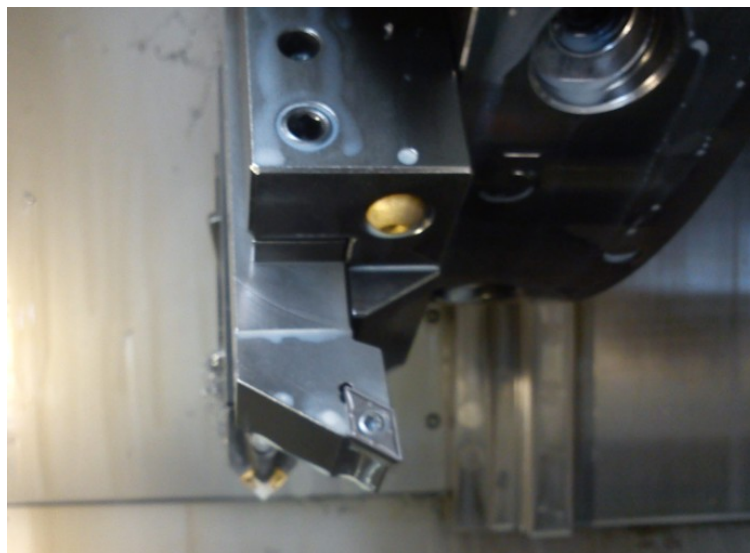
Z výsledků zkoušek vyplývá, že všechny tři zkoušené VBD dosahují podobných hodnot drsnosti povrchu Rz a Rmr při použití stejných řezných vlastností. Nejlepšího výsledku bylo však dosaženo při použití vyměnitelné břitové destičky DCMX 11 T3 04-WF od výrobce Sandvik Coromat při řezné rychlosti $v_c = 301,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, otáčkách vřetene $n = 4\,800 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, hloubce řezu $a_p = 0,3 \text{ mm}$, a posuvu $f_n = 0,08 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$, a to hodnot Rz 8 μm a Rmr 78,2% a bude nadále navržena pro výrobu.

Pořadí zkoušky	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Rz [μm]	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Rmr [%]	79,2	76,7	78,5	80,1	77,8	76,6	78,2	79,1	78,2	77,6

Tab. č. 14. Naměřené hodnoty Rz a Rmr při použití VBD Sandvik Coromat DCMX 11 T3 04-WF, řezné rychlosti $v_c = 301,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, otáčkách vřetene $n = 4\,800 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, hloubce řezu $a_p = 0,3 \text{ mm}$, a posuvu $f_n = 0,08 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$.



Obr. č. 34. Vyměnitelná břitová destička Sandvik Coromat DCMX 11 T3 04-WF.



Obr. č. 35. Upnutá VBD v tělese držáku.

6. Technicko-ekonomické zhodnocení

6.1. Ekonomické zhodnocení

Rozhodujícím faktorem při výběru vhodnějšího způsobu výroby je porovnání výsledků řešení a především ekonomické zhodnocení. Porovnáván bude původní způsob výroby a navrhovaný způsob odpovídající kvalitativním požadavkům pro danou operaci. Výrobní časy a hodinová sazba v *tab. č. 15.* byla zjištěna z firemních dokumentů. V hodinové sazbě jsou již započítány náklady na režie, nástroje, energie a mzdu obsluhy.

	Původní způsob		Navrhovaný způsob
Stroj	Junker EJ30	SP 12 CNC	CTX 420 linear
Hodinová sazba stroje (Sh)	1 421 Kč/hod	835 Kč/hod	1 297 Kč/hod
Čas na výrobu 100 ks (T_{100})	119 min (1,98 hod)	119 min (1,98 hod)	178 min (2,96 hod)

Tab. č. 15. Náklady a výrobní časy strojů. [1]

	Původní způsob	Navrhovaný způsob	Úspory
Náklady na výrobu 100 ks (N_{100})	4 466,88 Kč	3 839,1 Kč	627,8 Kč
Roční potřeba kusů (zakázka)	140 000 ks	140 000 ks	
Roční náklady na zakázku	6 253 660 Kč	5 374 740 Kč	878 920 Kč

Tab. č. 16. Porovnání.

Výpočet nákladů na výrobu 100 ks:

$$N_{100} = T_{100} \cdot Sh \quad [\text{Kč}/100\text{ks}] \quad (4)$$

N_{100} - náklady na výrobu 100 ks

Sh – hodinová sazba stroje

T_{100} - čas potřebný na výrobu 100 ks

Náklady na 100 ks na stroji Junker EJ30: $N_{100} = 1,98 \cdot 1\,421 = 2\,813,58 \text{ Kč}/100 \text{ Kč}$

Náklady na 100 ks na stroji SP 12 CNC: $N_{100} = 1,98 \cdot 835 = 1\,653,3 \text{ Kč}/100 \text{ Kč}$

Celkem: 4 466,88 Kč/100ks

Náklady na 100 ks na stroji CTX 420 linear: $N_{100} = 2,96 \cdot 1\,297 = 3\,839,12 \text{ Kč}/100 \text{ ks}$

Úspora: $4\,466,88 - 3\,543,12 = 627,8 \text{ Kč}/100\text{ks}$

(úspora na 1 ks = 6,278 Kč)

Výpočet kusů vyrobených za 1 směnu:

$$KS = 450 : T_1 \quad [\text{ks/směna}] \quad (5)$$

KS – počet kusů vyrobených za 1 směnu

T_1 – čas na výrobu 1 ks

450 – počet minut ve směně

Počet ks za směnu na Junker EJ30: $KS_p = 450 : 1,19 = 387,15 \text{ ks/směna}$

Počet ks za směnu na SP 12 CNC: $KS_p = 450 : 1,19 = 387,15 \text{ ks/směna}$

(původním způsobem se za 1 směnu vyrobí 387,15 ks z důvodu, že stroje pracují současně)

Počet ks za směnu na CTX 420 linear: $KS_N = 450 : 1,78 = 252,8 \text{ ks/směna}$

Počet směn potřebných za rok na výrobu 140 000 kusů:

Původní způsob: $140\,000 : 387,15 = 361,6$ ks

Navrhovaný způsob: $140\,000 : 252,8 = 553,8$ ks

Roční náklady na zakázku (140 000ks):

Původní způsob: $Rn_p = \frac{4\,466,9}{100} \cdot 140\,000 = 6\,253\,660$ Kč

Navrhovaný způsob: $Rn_n = \frac{3\,839,1}{100} \cdot 140\,000 = 5\,374\,740$ Kč

Úspora: $6\,253\,660 - 5\,374\,740 = 878\,920$ Kč

6.2. Porovnání dosažených drsností povrchu

Při této práci byl největší důraz kladen na požadovanou drsnost povrchu hřídele z důvodu následného kvalitního lisovaného spojení s ložiskem. Minimální hodnoty drsnosti povrchu dle technického výkresu jsou $Rz\ 8\ \mu m$ a $Rmr < 65\%$.

Drsnost povrchu dosahovaná broušením: $Rz\ 6,4$

$$Rmr < 65\%$$

Drsnost povrchu dosažená při zkouškách soustružením: $Rz\ 8\ \mu m$

$$Rmr\ 78,2\%$$

Broušením je dosahováno lepších výsledků drsnosti povrchu hřídele Rz , ale v závislosti na úspoře nákladů na provoz strojů je vhodnější použít soustružení, jehož hodnoty Rz a Rmr jsou dostačující.

Konečné zhodnocení:

1. Úspora 878 920 Kč ročně
2. Zjednodušení výrobního toku
3. Úspora nákladů na seřizování (dva stroje / jeden stroj)
4. Úspora mezioperační manipulace
5. Úspora místa ((dva stroje / jeden stroj) navíc bruska je velká)
6. Ekologie (bruska)

Negativa: čas na výrobu dávky je o 53% delší. Nutno s tím počítat při plánování termínů zakázek.

7. Závěr

Předmětem této bakalářské práce byl návrh náhrady broušení ložiskových čepů soustružením, kterým bylo dosaženo snížení nákladů na provoz strojů. V úvodních částech byl popsán koncern Siemens AG, následovala charakteristika daného problému, dále byl proveden obecný popis soustružení, broušení, popis CNC strojů a způsoby kontroly používané pro kontrolu hřídelí. Následoval popis původního způsobu výroby hřídelí na dílně obrobny rotorů a důvody vedoucí ke zkouškám nové metody. Vlastní práce byla zaměřena na řešení nového způsobu výroby a testování navržených vyměnitelných břitových destiček pro dosažení požadovaných hodnot jakosti povrchu hřídele na stroji CTX linear 420 GILDEMEISTER. Následovala diskuze experimentů, ve které byly porovnány výsledky provedených zkoušek, ze kterých vyplývá, že nejlepšího výsledku bylo dosaženo vyměnitelnou břitovou destičkou Sandvik Coromat DCMX 11 T3 04-WF při řezné rychlosti $v_c = 301,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ otáčkách vřetene $n = 4\,800 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, hloubce řezu $a_p = 0,3 \text{ mm}$, a posuvu $f_n = 0,08 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$. V poslední kapitole došlo k porovnání nákladů na provoz strojů, ze kterých je navrhovaným způsobem patrná úspora 878 920 Kč ročně. Cíl této bakalářské práce pokusit se nahradit broušení ložiskových čepů soustružením se podařilo naplnit a navíc bylo dosaženo zvýšení efektivity, úspora místa, úspora mezioperační manipulace, zjednodušení výrobního toku a především snížení nákladů. Získané poznatky je možné po menší úpravě dále použít pro výrobu hřídelí i jiných osových výšek na dílně obrobny rotorů v závodě Elektromotory Mohelnice.

8. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

- [1] Interní materiály Siemens Mohelnice včetně internetových stránek www.siemens.com
- [2] Obrábění kalených součástí kubickým nitridem boru. [online]. [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-kalenych-soucasti-kubickym-nitridem-boru.html>
- [3] Měření drsnosti povrchu. [online]. [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: http://www.mitutoyo-czech.cz/cz/pdf/poster_drsnosti_ra_cze_a3.pdf
- [4] ŘASA, Jaroslav, GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3*. Praha : Scienta, 2005, 256 s. ISBN 80-7183-337-1.
- [5] BRYCHTA, J., ČEP, R., SADÍLEK, M., PETŘKOVSKÁ, L., NOVÁKOVÁ, J. *NOVÉ SMĚRY V PROGRESIVNÍM OBRÁBĚNÍ*. Ostrava: Vysoká škola báňská – TU Ostrava, 2007, 251 s. ISBN 978-80-248-1505-3. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>
- [6] ČEP, R. *TECHNOLOGIE II – 2. díl*. Ostrava: Vysoká škola báňská – TU Ostrava, 142 s. Dostupné z: http://home1.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
- [7] ŠTULPA, Miroslav. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování*. 1. dotisk 1. vydání Praha: BEN – technická literatura, 2007, 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
- [8] Mrkvica, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů I. část*. Ostrava, VŠB – Technická univerzita, 2008, 148 s. ISBN 978-80-248-1053-9
- [9] TICHÁ, Šárka, ADAMEC, Jaromír, *NÁVODY CO CVIČENÍ Z PŘEDMĚTU STROJÍRENSKÁ METROLOGIE*, VŠB – Technická univerzita Ostrava 2008, 90 s. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie-cviceni.pdf>
- [10] PETŘKOVSKÁ Lenka, ČEPOVÁ, Lenka, *STROJÍRENSKÁ METROLOGIE*, VŠB – Technická univerzita Ostrava 2011, 99 s.

- [11] TICHÁ, Šárka, *STROJÍRENSKÁ METROLOGIE část 1*, VŠB – Technická univerzita Ostrava 2004, 110 s. Dostupné z: <http://www.346.vsb.cz/346.vsb.cz/STROJ%C3%8DRENSK%C3%81%20METROLOGIE-1.d%C3%ADl.pdf>
- [12] JUNKER: Stroj řady EJ na broušení vnějších průměrů. [online]. [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: <http://www.junker-group.de/cz/loesungen/schleifmaschinen/ej.php>
- [13] DMG: CTX 420 linear. [online]. [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: http://www.dmg.com/demo_machines_ma.C8EFEE4683D9A668C1257483004CE651
- [14] SANDVIK Coromat: Turning tools. [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/catalogues/en-gb/TURN_A.pdf
- [15] Pramet: Soustružení 2012. [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning%202012%20CZ%20PROG.pdf>
- [16] JKZ BUČOVICE a.s.: Konstrukční ocel - ČSN 11 600. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/konstrukcni-ocel-11-600>
- [17] Generátor citací. [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/>